IR. SUSY FATENA ROSTIYANTI, M.SC.
ALAT BERAT
UNTUK
PROYEK
KONSTRUKSI
EDISI KEDUA
Penerbit
RINEKA CIPTA

ALAT BERAT
UNTUK
PROYEK KONSTRUKSI

Ir. Susy Fatena Rostiyanti, M.Sc.

ALAT BERAT
UNTUK
PROYEK KONSTRUKSI

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Susy Fatena Rostiyanti
Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi / Susy
Fatena Rostiyanti, -- Cet. 1. Edisi 2 -- Jakarta :
Rineka Cipta, 2008.
x, 179 hlm. : 23,5 cm.
Bibliografi
ISBN 978-979-518-850-6

1. Konstruksi -- Perlengkapan
I. Judul

681.76

Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi
Oleh : Ir. Susy Fatena Rostiyanti, M.Sc.

Cetakan I, Edisi 2, Desember 2008

Diterbitkan oleh PT RINEKA CIPTA, Jakarta
Kompleks Perkantoran Mitra Matraman Blok B No. 1-2
Jl. Matraman Raya No. 148 Jakarta 13150
Telp. (021) 85918080, 85918081, 85918142, 85918143

Anggota IKAPI No. 112/DKI/90
Dicetak oleh PT Asdi Mahasatya, Jakarta
RC. No : 1.428/H/2008

KATA PENGANTAR

Sungguh suatu kebahagiaan tersendiri bagi penulis dengan diterbitkannya edisi revisi ini. Terbitnya buku ini berkat apresiasi pembaca akan kehadiran buku mengenai alat berat yang berbahasa Indonesia yang dirasakan masih kurang keberadaannya.

Pada edisi revisi ini, penulis mencoba memperbaiki isi buku dengan harapan buku ini menjadi buku pengetahuan mengenai alat berat yang lebih baik. Selain itu juga penulis memasukkan lebih banyak informasi dan gambar alat agar pemahaman akan alat berat menjadi lebih baik.

Tentu saja, rampungnya buku ini tidak terlepas dari bantuan banyak sumber. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini.

Penulis ingin mendedikasikan buku ini kepada suami dan anak-anak tercinta yang dengan sabar mendorong dan menyemangati penulis dalam setiap langkah untuk penyelesaian buku ini.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Penulis mengharapkan saran dan kritik membangun untuk penyempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Penulis

DAFTAR ISI

BAB XIII. ALAT PENGERASAN BETON DAN ASPAL

BAB I
PENGENALAN ALAT BERAT

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang teknik sipil, alat-alat berat digunakan untuk membantu manusia dalam melakukan pekerjaan pembangunan suatu struktur bangunan. Saat ini, alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek, terutama proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Tujuan penggunaan alat-alat berat tersebut untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai dengan lebih mudah pada waktu yang relatif lebih singkat. Alat berat yang umum dipakai di dalam proyek konstruksi antara lain *dozer*, alat gali (*excavator*) seperti *backhoe*, *front shovel*, *clamshell*; alat pengangkut seperti *loader*, *truck* dan *conveyor belt*; alat pemadat tanah seperti *roller* dan *compactor*; dan lain-lain.

Pada saat suatu proyek akan dimulai, kontraktor akan memilih alat berat yang akan digunakan di proyek tersebut. Pemilihan alat berat yang akan dipakai merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan suatu proyek. Alat berat yang dipilih haruslah tepat baik jenis, ukuran maupun jumlahnya. Ketepatan dalam pemilihan alat berat akan memperlancar jalannya proyek. Kesalahan dalam pemilihan alat berat dapat mengakibatkan proyek menjadi tidak lancar. Dengan demikian keterlambatan penyelesaian proyek dapat terjadi. Hal ini pada akhirnya dapat menyebabkan biaya proyek membengkak. Produktivitas yang kecil dan tenggang waktu yang dibutuhkan untuk pengadaan alat lain yang lebih sesuai merupakan hal yang menyebabkan biaya yang lebih besar.

2. PENGKLASIFIKASIAN ALAT

Secara umum alat berat dapat dikategorikan ke dalam beberapa klasifikasi. Salah satunya adalah pengklasifikasian alat berat berdasarkan klasifikasi fungsional dan klasifikasi operasional alat berat.

2.1. Klasifikasi Fungsional Alat Berat

Yang dimaksud dengan klasifikasi fungsional alat adalah pembagian alat tersebut berdasarkan fungsi-fungsi utama alat. Berdasarkan fungsinya alat berat dapat dibagi atas tujuh fungsi dasar.

2.1.1. Alat Pengolah Lahan

Kondisi lahan proyek kadang-kadang masih merupakan lahan asli yang harus dipersiapkan sebelum lahan tersebut mulai diolah. Jika pada lahan masih terdapat semak atau pepohonan maka pembukaan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan *dozer*. Untuk pengangkatan lapisan tanah paling atas dapat digunakan *scraper*. Sedangkan untuk pembentukan permukaan supaya rata selain *dozer* dapat digunakan juga *motor grader*.

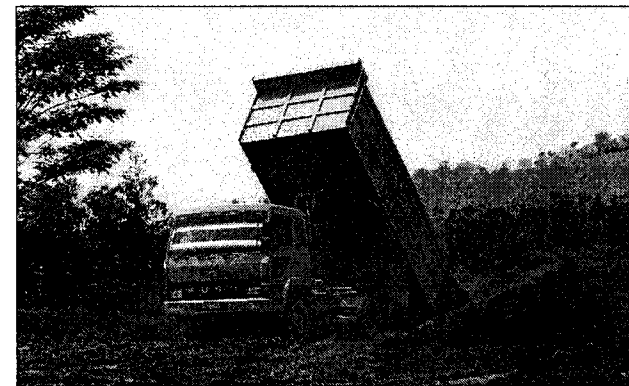
Gambar 1.1. *Motor Grader*
(Sumber: *http://www.buyerzone.com/industrial/motor-grader/images*)

2.1.2. Alat Penggali

Jenis alat ini dikenal juga dengan istilah *excavator*. Fungsi dari alat ini adalah untuk menggali, seperti dalam pekerjaan pembuatan *basement* atau saluran. Beberapa alat berat digunakan untuk menggali tanah dan batuan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah *front shovel*, *backhoe*, *dragline*, dan *clamshell*.

Gambar 1.2. *Backhoe yang Sedang Mengisi Truk*

2.1.3. Alat Pengangkut Material

Pengangkutan material dapat dibagi menjadi pengangkutan horisontal maupun vertikal. Truk dan wagon termasuk dalam alat pengangkutan horisontal karena material yang diangkutnya hanya dipindahkan secara horisontal dari satu tempat ke tempat lain. Umumnya alat ini dipakai untuk pengangkutan material lepas (*loose material*) dengan jarak tempuh yang relatif jauh. Truk maupun wagon memerlukan alat lain yang membantu memuat material ke dalamnya.

Gambar 1.3. *Truk*

Sedangkan crane termasuk di dalam kategori alat pengangkutan vertikal. Material yang diangkut crane dipindahkan secara vertikal dari satu elevasi ke elevasi yang lebih tinggi. Jarak jangkau pengangkutan crane relatif kecil.

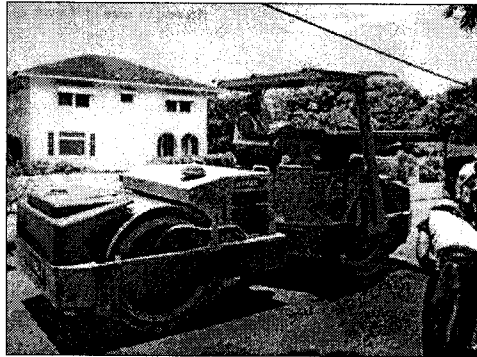
2.1.4. Alat Pemindahan Material

Yang termasuk dalam kategori ini adalah alat yang biasanya tidak digunakan sebagai alat transportasi tetapi digunakan untuk memindahkan material dari satu alat ke alat yang lain. *Loader* dan *dozer* adalah alat pemindahan material.

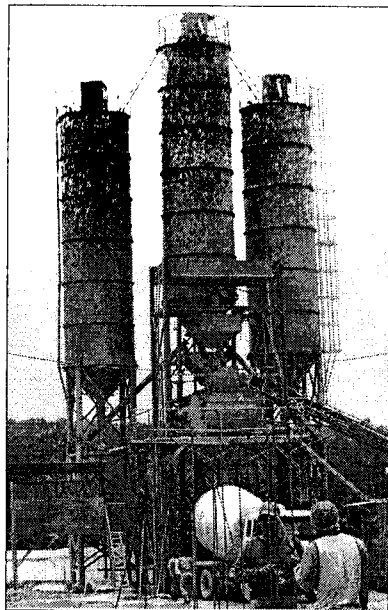
Gambar 1.4. *Loader*
(Sumber: *http://www.dkimages.com/discover/previews/849*)

2.1.5. Alat Pemadatan

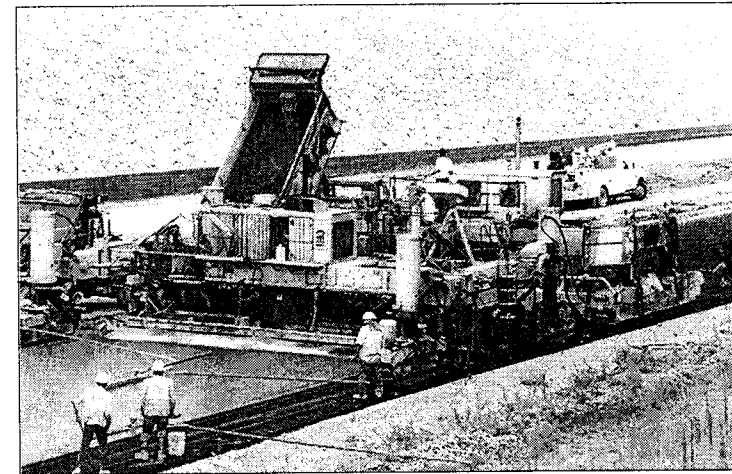
Pada pekerjaan penimbunan lahan biasanya setelah dilakukan penimbunan maka pada lahan tersebut perlu dilakukan pemadatan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan per-

mukaan yang rata dan padat. Pemadatan juga dilakukan untuk pembuatan jalan baik itu jalan tanah dan jalan dengan pengerasan lentur maupun pengerasan kaku. Yang termasuk sebagai alat pemadatan adalah *tamping roller*, *pneumatic-tired roller*, *compactor*, dan lain-lain.

Gambar 1.5. *Compactor*
(Sumber: *http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/09_construction/images*)

2.1.6. Alat Pemroses Material

Alat ini dipakai untuk mengubah batuan dan mineral alam menjadi suatu bentuk dan ukuran yang diinginkan. Hasil dari alat ini misalnya adalah batuan bergradasi, semen, beton, dan aspal. Yang termasuk dalam alat ini adalah *crusher*. Alat yang dapat mencampur material untuk pembuatan beton maupun aspal dikategorikan ke dalam alat pemroses material seperti *concrete batch plant* dan *asphalt mixing plant*.

Gambar 1.6. *Concrete Plant*

2.1.7. Alat Penempatan Akhir Material

Alat digolongkan pada kategori ini karena fungsinya, yaitu untuk menempatkan material pada tempat telah ditentukan. Di tempat atau lokasi ini material disebarkan secara merata dan dipadatkan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Yang termasuk dalam kategori ini adalah *concrete spreader*, *asphalt paver*, *motor grader*, dan alat pemadat.

Gambar 1.7. *Pelaksanaan Pengerasan Beton*
(Sumber: *http://www.roadstothefuture.com*)

2.2. Klasifikasi Operasional Alat Berat

Alat-alat berat dalam pengoperasiannya dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain atau tidak dapat digerakkan atau statis. Jadi, klasifikasi alat berdasarkan pergerakkannya dapat dibagi atas:

2.2.1. Alat dengan Penggerak

Alat penggerak merupakan bagian dari alat berat yang menerjemahkan hasil dari mesin menjadi kerja. Bentuk dari alat penggerak adalah *crawler* atau roda kelabang dan ban karet. Sedangkan *belt* merupakan alat penggerak pada *conveyor belt*. Untuk beberapa jenis alat berat seperti truk, *scraper* atau motor *grader*, alat penggeraknya adalah ban karet. Untuk alat-alat seperti *backhoe*, alat penggeraknya bisa salah satu dari kedua jenis di atas. Umumnya penggunaan ban karet dijadikan pilihan karena alat berat dengan ban karet mempunyai mobilitas lebih tinggi daripada alat berat yang menggunakan *crawler*. Alat penggerak ban karet juga menjadi pilihan untuk kondisi permukaan yang baik. Sedangkan pada permukaan tanah yang lembek, basah atau berpori umumnya digunakan alat berat beroda *crawler*. PadaTabel 1.1, terdapat faktor-faktor yang menjadi dasar pemilihan alat dengan menggunakan roda ban dan roda *crawler*.

2.2.2. Alat Statis

Alat statis adalah alat berat yang dalam menjalankan fungsinya tidak berpindah tempat. Yang termasuk dalam kategori ini adalah *tower crane*,dan *batching plant* baik untuk beton maupun untuk aspal serta *crusher plant*.

Tabel 1.1. Perbandingan Antara Alat Beroda Ban dan Beroda Crawler

Roda Ban Karet	Roda Crawler
Digunakan pada permukaan yang baik (misalnya pada beton, tanah padat).	Untuk digunakan pada bermacam-macam jenis permukaan.
Bekerja baik pada permukaan yang menurun dan datar.	Dapat bekerja pada berbagai permukaan.
Cuaca yang basah dapat menyebabkan slip.	Dapat bekerja pada tanah yang basah atau berlumpur.
Bekerja baik untuk jarak tempuh yang panjang.	Mempunyai jarak tempuh yang pendek.
Dipakai untuk mengatasi tanah lepas.	Dapat dipakai untuk mengatasi tanah keras.
Kecepatan alat dalam keadaan kosong tinggi.	Kecepatan alat dalam keadaan kosong rendah.

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

3. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEMILIHAN ALAT BERAT

Pemilihan alat berat dilakukan pada tahap perencanaan, dimana jenis, jumlah, dan kapasitas alat merupakan faktor-faktor penentu. Tidak setiap alat berat dapat dipakai untuk setiap proyek konstruksi. Oleh karena itu pemilihan alat berat yang tepat sangatlah diperlukan. Apabila terjadi kesalahan dalam pemilihan alat berat maka akan terjadi keterlambatan di dalam pelaksanaan, biaya proyek yang membengkak, dan hasil yang tidak sesuai dengan rencana.

Dalam pemilihan alat berat, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan sehingga kesalahan dalam pemilihan alat dapat dihindari. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. *Fungsi yang harus dilaksanakan.* Alat berat dikelompokkan berdasarkan fungsinya, seperti untuk menggali, mengangkut, meratakan permukaan, dan lain-lain.
2. *Kapasitas peralatan.* Pemilihan alat berat didasarkan pada volume total atau berat material yang harus diangkut atau dikerjakan. Kapasitas alat yang dipilih harus sesuai sehingga pekerjaan dapat diselesaikan pada waktu yang telah ditentukan.
3. *Cara operasi.* Alat berat dipilih berdasarkan arah (horisontal maupun vertikal) dan jarak gerakan, kecepatan, frekuensi gerakan, dan lain-lain.
4. *Pembatasan dari metode yang dipakai.* Pembatasan yang mempengaruhi pemilihan alat berat antara lain peraturan lalu lintas, biaya, dan pembongkaran. Selain itu metode konstruksi yang dipakai dapat membuat pemilihan alat dapat berubah.
5. *Ekonomi.* Selain biaya investasi atau biaya sewa peralatan, biaya operasi dan pemeliharaan merupakan faktor penting di dalam pemilihan alat berat.
6. *Jenis proyek.* Ada beberapa jenis proyek yang umumnya menggunakan alat berat. Proyek-proyek tersebut antara lain proyek gedung, pelabuhan, jalan, jembatan, irigasi, pembukaan hutan, dam, dan lain-lain.
7. *Lokasi proyek.* Lokasi proyek juga merupakan hal lain yang perlu diperhatikan dalam pemilihan alat berat. Sebagai contoh lokasi proyek di dataran tinggi memerlukan alat berat yang berbeda dengan lokasi proyek di dataran rendah.
8. *Jenis dan daya dukung tanah.* Jenis tanah di lokasi proyek dan jenis material yang akan dikerjakan dapat mempengaruhi alat berat yang akan dipakai. Tanah dapat dalam kondisi padat, lepas, keras, atau lembek.
9. *Kondisi lapangan.* Kondisi dengan medan yang sulit dan medan yang baik merupakan faktor lain yang mempengaruhi pemilihan alat berat.

4. ALAT BERAT PADA MACAM-MACAM PROYEK KONSTRUKSI

Setiap proyek konstruksi memerlukan beberapa jenis alat berat, namun tidak mencakup semua alat berat yang ada. Jenis-jenis proyek yang pada umumnya menggunakan alat berat adalah proyek gedung, pelabuhan, jalan, dam, irigasi, dan lain-lain.

4.1. Proyek Gedung

Alat berat yang umum dipakai dalam proyek gedung adalah alat pemancang tiang pondasi (*pile driving*), alat penggali (*backhoe*) untuk penggalian *basement*, *crane* untuk pemindahan vertikal, *truck, concrete mixer*, dan lain-lain. *Concrete mixer* digunakan sebagai pencampur adukan beton dan concrete mixer truck sebagai pengangkut campuran beton. Alat pemadat juga sering digunakan untuk pemadatan di sekitar basement.

4.2. Proyek Jalan

Proyek jalan pada umumnya menggunakan alat gali, truk, *dozer, grader*, alat pemadat, *loader*, dan lain-lain. Alat gali digunakan untuk menggali saluran di sekitar badan jalan. Dozer berfungsi untuk mengupas tanah dan grader untuk membentuk permukaan tanah. Loader digunakan sebagai pemuat tanah ke dalam truk. Untuk jalan dengan pengerasan lentur digunakan *asphalt mixing plant* yang berfungsi untuk mencampurkan

bahan campuran aspal yang kemudian disebarkan, diratakan dan dipadatkan dengan menggunakan *asphalt finisher*. Sedangkan untuk pengerasan kaku beton diolah dengan menggunakan *concrete batching plant* yang kemudian dipindahkan dengan menggunakan *truck mixer.*

4.3. Proyek Jembatan

Alat berat yang digunakan untuk proyek jembatan antara lain adalah alat pemancang tiang pondasi, alat penggali, crane, truck, *concrete mixer* atau *concrete mixer truck*, alat pemadat, dan lain-lain.

4.4. Proyek Bendungan

Proyek bendungan pada umumnya menggunakan alat penggali tanah, *crane, truck, concrete mixer truck,* alat pemadat tanah, loader, buldozer, grader. Alat penggali tanah yang umum dipakai untuk proyek dam berupa *backhoe. Concrete mixer* digunakan untuk mencampurkan bahan pembuatan beton yang dipakai untuk pembuatan dinding penahan tanah.

BAB II
BIAYA KEPEMILIKAN DAN PENGOPERASIAN ALAT BERAT

1. PENDAHULUAN

Bonafiditas suatu perusahaan konstruksi tergantung dari aset-aset yang dimilikinya. Salah satunya adalah alat berat. Alat berat yang dimiliki sendiri oleh perusahaan konstruksi akan sangat menguntungkan dalam memenangkan tender proyek konstruksi dan menyelesaikan proyek yang dikerjakannya. Akan tetapi dalam kepemilikan alat berat perlu suatu pertimbangan, apakah perusahaan akan menggunakannya secara kontinu atau tidak. Hal ini berkaitan dengan biaya pengadaan alat berat yang tinggi. Jika alat digunakan secara terus menerus maka kepemilikan alat akan optimal, namun jika alat tidak digunakan secara terus menerus maka kepemilikan alat akan menjadi beban bagi perusahaan. Pertimbangan lain yang harus diperhatikan adalah bahwa pada umumnya suatu alat tidak bekerja sendiri, tetapi bekerja bersama alat-alat lain dalam suatu kelompok atau *fleet*. Jadi, perusahaan konstruksi perlu melakukan analisis untuk melihat apakah lebih menguntungkan jika memiliki suatu alat atau bermacam-macam alat atau mengadakan alat dari pihak luar.

2. SUMBER ALAT BERAT

Di dalam dunia konstruksi alat-alat berat yang dipakai dapat berasal dari bermacam-macam sumber, antara lain alat berat yang dibeli oleh kontraktor, alat berat yang disewa-beli, dan alat berat yang disewa.

2.1. Alat Berat yang Dibeli oleh Kontraktor

Perusahaan konstruksi dapat membeli alat berat sebagai aset perusahaan. Keuntungan dari pembelian ini adalah biaya pemakaian per jam yang sangat kecil jika alat tersebut dipergunakan secara optimal. Keuntungan lain dari kepemilikan alat adalah bonafiditas bagi perusahaan konstruksi karena kadang-kadang dalam proses tender pemilik proyek melihat kemampuan suatu kontraktor berdasarkan alat yang dimilikinya.

2.2. Alat Berat yang Disewa-Beli (*Leasing*) oleh Kontraktor

Pengadaan alat juga dapat berasal dari perusahaan *leasing* alat berat. Sewa-beli alat umumnya dilakukan jika pemakaian alat tersebut berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Yang dimaksud dengan sewa-beli adalah pengadaan alat dengan pembayaran pada perusahaan *leasing* dalam jangka waktu yang lama dan di akhir masa sewa beli tersebut alat menjadi milik pihak penyewa. Biaya pemakaian umumnya lebih tinggi daripada memiliki alat tersebut, namun terhindar dari risiko investasi alat yang besar di awal.

2.3. Alat Berat yang Disewa oleh Kontraktor

Perusahaan konstruksi juga dapat mengadakan alat berat dari perusahaan penyewaan. Alat berat yang disewa umumnya dalam jangka waktu yang tidak lama. Biaya pemakaian alat berat sewa adalah yang tertinggi, akan tetapi tidak akan berlangsung lama karena penyewaan dilakukan pada waktu yang singkat. Pada metode ini juga perusahaan konstruksi terbebas dari biaya investasi alat yang cukup besar.

3. BIAYA ALAT BERAT

Biaya alat berat dapat dibagi di dalam dua kategori, biaya kepemilikan alat dan biaya pengoperasian alat. Kontraktor yang memiliki alat berat harus menanggung biaya yang disebut biaya kepemilikan alat berat (*ownership cost*). Pada saat alat berat dioperasikan maka akan ada biaya pengoperasian (*operation cost*).

Perhitungan biaya kepemilikan alat berat didasarkan pada ilmu ekonomi rekayasa. Pada ilmu ini uang mempunyai nilai terhadap waktu. Sebagai contoh nilai uang sebesar satu juta rupiah saat ini tidak akan sama nilainya dengan beberapa tahun yang akan datang. Atau dapat dikatakan terdapat nilai waktu terhadap uang (*time value of money*). Konsep dari nilai waktu terhadap uang dinotasikan dengan waktu (*time*, t) dan bunga (*interest*, i).

3.1. Nilai Waktu terhadap Uang

Dalam ilmu ekonomi rekayasa dikenal beberapa istilah yang berkaitan dengan kepemilikan alat berat, yaitu nilai pada tahun sekarang (P, *Present*), nilai pada n tahun yang akan datang (F, *Future*), nilai rangkaian seragam (A, *Annual*), nilai sisa aset pada akhir tahun ke-n (S, *Salvage*) dan jumlah tahun (n). Hubungan dari istilah-istilah ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mencari nilai uang pada tahun ke-n (F) dengan mengetahui nilainya pada saat ini (P) maka menggunakan rumus:

$$F = P \times (1+i)^n$$
$$F = P \times (F/P, i\%, n) \qquad (2.1)$$

$(1+i)^n$ adalah faktor jumlah majemuk pembayaran tunggal yang dapat disimbolkan sebagai ($F/P,i$ %,n). Nilainya dapat dilihat pada Lampiran 1.

2. Untuk mencari nilai uang pada rangkaian seragam (A) selama n tahun dengan mengetahui nilainya pada saat ini (P) digunakan rumus:

$$A = P \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \qquad (2.2)$$
$$A = P \times (A/P, i\%, n)$$

$\left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$ adalah faktor pemulihan modal yang dapat disimbolkan sebagai ($A/P,i$ %,n).

3. Untuk mencari nilai uang pada rangkaian seragam (A) selama n tahun dengan mengetahui nilainya pada tahun ke-n (F) digunakan rumus:

$$A = F \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \qquad (2.3)$$
$$A = F \times (A/F, i\%, n)$$

$\left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right)$ adalah faktor dana diendapkan dan disimbolkan dengan ($A/F,i$ %,n).

4. Untuk mencari nilai uang pada masa sekarang (P) dengan mengetahui nilainya pada tahun ke-n (F) dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \qquad (2.4)$$
$$P = F \times (P/F, i\%, n)$$

$\left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$ adalah faktor nilai sekarang pembayaran tunggal dan disimbolkan sebagai ($P/F, i\%, n$).

5. S adalah nilai sisa suatu alat yang merupakan akibat dari penyusutan alat atau depresiasi, dengan demikian nilai S tidak sama dengan nilai F.

3.2. Biaya Kepemilikan Alat Berat

Biaya kepemilikan alat berat terdiri dari beberapa faktor. Faktor pertama adalah biaya investasi pembelian alat. Jika pemilik meminjam uang dari bank untuk membeli alat tersebut maka akan ada biaya bunga pinjaman. Faktor kedua adalah depresiasi atau penurunan nilai alat yang disebabkan bertambahnya umur alat. Faktor ketiga yang juga penting adalah pajak. Faktor keempat adalah biaya yang harus dikeluarkan pemilik untuk membayar asuransi alat. Dan faktor terakhir adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk menyediakan tempat penyimpanan alat.

3.2.1. Depresiasi

Depresiasi adalah penurunan nilai alat yang dikarenakan adanya kerusakan, pengurangan dan harga pasaran alat. Penurunan nilai alat ini berkaitan erat dengan semakin meningkat umur alat atau juga *out of date*. Perhitungan depresiasi diperlukan untuk mengetahui nilai alat setelah pemakaian alat tersebut selama suatu masa tertentu. Selain itu bagi pemilik alat dengan menghitung depresiasi alat tersebut maka pemilik dapat memperhitungkan modal yang akan dikeluarkan di masa alat sudah tidak dapat digunakan dan alat baru harus dibeli. Dalam pelaksanaannya depresiasi juga dapat dimasukkan ke dalam biaya operasional pada perhitungan biaya perawatan alat berat.

Dilihat dari jenisnya maka ada tiga jenis penyusutan yaitu penyusutan fisik, penyusutan fungsional, dan penyusutan akibat perubahan ekonomi. Yang dimaksud dengan penyusutan fisik adalah berkurangnya kemampuan fisik sebuah aset karena aus. Akibat dari penyusutan fisik adalah meningkatnya biaya operasional dan pemeliharaan yang pada akhirnya akan menurunkan produktivitas dan keuntungan. Penyusutan fungsional biasanya terjadi karena alat dianggap telah kuno sehingga penentuannya lebih sulit dibandingkan dengan penyusutan fisik. Penyusutan fungsional salah satunya diakibatkan oleh berubahnya permintaan pasar karena munculnya mesin dengan teknologi baru. Penyusutan jenis ketiga yaitu penyusutan akibat perubahan ekonomi sangat sulit diramalkan.

Ada beberapa cara yang dipakai untuk menghitung depresiasi alat. Cara-cara tersebut adalah:

1. metode garis lurus (*Straight line method*),
2. metode penjumlahan tahun (*Sum of the years method*),

3. metode penurunan seimbang (*Declining balance method*).

3.2.1.1. Metode Garis Lurus *(Straight Line Method)*

Metode ini merupakan metode termudah dalam perhitungan depresiasi. Hampir semua perhitungan depresiasi menggunakan metode ini. Tingkat depresiasi dengan metode ini adalah:

$$R_k = \frac{1}{n} \tag{2.5}$$

k adalah tahun di mana depresiasi dihitung. Untuk menghitung depresiasi per tahun digunakan rumus berikut ini.

$$D_k = \frac{P - S}{n} \tag{2.6}$$

D_k adalah depresiasi per tahun yang tergantung pada harga alat pada saat pembelian, nilai sisa alat dan umur ekonomis alat (n). Nilai D_k pada metode ini selalu konstan. Nilai buku (*book value*, B_k) dari alat dihitung dengan rumus:

$$B_k = P - kD_k \tag{2.7}$$

Contoh 2.1:

Suatu alat dibeli dengan harga 500 juta rupiah dengan perkiraan nilai sisa 75 juta rupiah. Alat tersebut mempunyai umur ekonomis 5 tahun. Hitunglah depresiasi per tahun dan nilai buku alat tersebut dengan menggunakan metode garis lurus.

Jawab:

Maka depresiasi pertahun menjadi:

$$D_k = \frac{500.000.000 - 75.000.000}{5}$$

D_k = Rp 85.000.000 pertahun

Nilai buku pada akhir tahun ke-k adalah:

k	B_{k-1}(Rp)	D_k(Rp)	B_k(Rp)
0	0	0	500.000.000
1	500.000.000	85.000.000	415.000.000
2	415.000.000	85.000.000	330.000.000
3	330.000.000	85.000.000	245.000.000
4	245.000.000	85.000.000	160.000.000
5	160.000.000	85.000.000	75.000.000

3.2.1.2. Metode Penjumlahan Tahun (*Sum of Years Method*)

Metode ini merupakan metode percepatan sehingga nilai depresiasinya akan lebih besar daripada depresiasi yang dihitung dengan metode garis lurus. Pertama-tama yang harus dihitung adalah nilai *SOY* dengan menggunakan rumus:

$$SOY = \frac{n(n+1)}{2} \tag{2.8}$$

Kemudian dicari tingkat depresiasinya dengan rumus:

$$R_k = \frac{n-k+1}{SOY} \tag{2.9}$$

Depresiasi tahunan dihitung dengan cara:

$$D_k = R_k \times (P-S) \tag{2.10}$$

Nilai buku pada akhir tahun ke-k adalah:

$$B_k = P-(P-S)\times\left(\frac{k\left(n-\frac{k}{2}\right)+0{,}5}{SOY}\right) \tag{2.11}$$

Contoh 2.2:

Untuk contoh kasus 2.1, hitunglah depresiasi dengan metode penjumlahan tahun dan nilai bukunya.

Jawab:

$$SOY = \frac{5(5+1)}{2} = 15$$

maka:

k	D_k(Rp)	B_k(Rp)
0	0	500.000.000
1	141.666.667	358.333.333
2	113.333.333	245.000.000
3	85.000.000	160.000.000
4	56.666.667	103.333.333
5	28.333.333	75.000.000

3.2.1.3. Metode Penurunan Seimbang (*Declining-Balance Method*)

Metode ini menghitung depresiasi pertahun dengan mengkalikan nilai buku pada akhir tahun dengan suatu faktor. Nilai depresiasi dengan cara ini lebih besar daripada dengan dua metode sebelumnya. Persen penurunannya (x) berkisar antara 1,25 per umur alat sampai 2,00 per umur alat. Tingkat depresiasi dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{x}{n} \tag{2.12}$$

Metode ini disebut sebagai metode penurunan seimbang ganda (*double declining-balance method*) jika:

$$R = \frac{2}{n} \tag{2.13}$$

Depresiasi tahunan dengan metode ini dihitung dengan rumus:

$$D_k = R(1-R)^{k-1} \times P \tag{2.14}$$

Pada awal umur alat, nilai buku dengan metode ini berkurang dengan cepat. Nilai buku diakhir tahun ke-k dihitung dengan rumus:

$$B_k = (1-R)^k \times P \tag{2.15}$$

Pada perhitungan depresiasi dengan metode ini tidak memperhitungkan nilai sisa alat. Akan tetapi pada akhir perhitungan nilai buku tidak boleh kurang dari perkiraan nilai sisa alat.

Contoh 2.3:

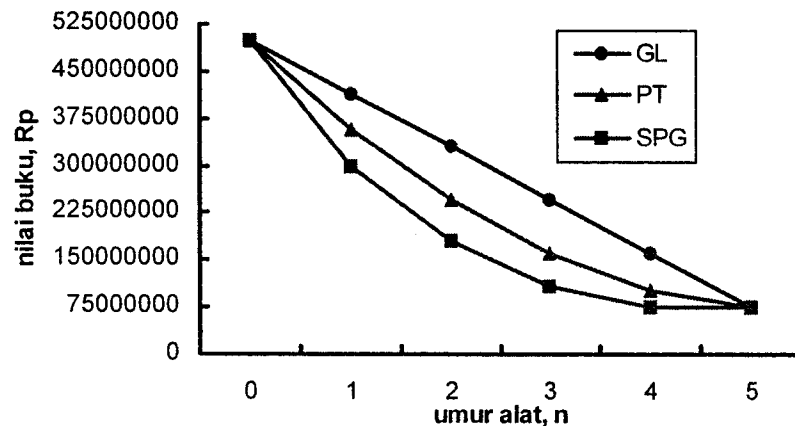
Dengan kasus seperti contoh 2.1, hitunglah depresiasi dengan metode penurunan seimbang ganda.

Jawab:

$$D_1 = \frac{2}{5}\left(1-\frac{2}{5}\right)^{1-1} \times 500.000.000 = 200.000.000$$

Bila dibuatkan tabel maka:

k	*Dk*(rp)	*Bk*(rp)
0	0	500.000.000
1	200.000.000	300.000.000
2	120.000.000	180.000.000
3	72.000.000	108.000.000
4	33.000.000	75.000.000
5	0	75.000.000

Pada tahun keempat dengan menggunakan metode penurunan seimbang ganda didapat nilai buku yang kurang dari perkiraan nilai sisa. Dengan demikian maka depresiasi yang diperbolehkan adalah Rp 33.000.000,- sehingga nilai buku pada tahun tersebut adalah Rp 75.000.000,-. Pada tahun kelima untuk menjaga nilai buku tetap seperti perkiraan nilai sisa maka depresiasinya adalah nol. Jika hasil dari ketiga metode tersebut digambarkan maka akan terlihat perbedaannya seperti pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1.
Kurva Depresiasi dari Tiga Metode yang Ada

3.2.2. Metode Perhitungan Biaya Kepemilikan

Perhitungan biaya kepemilikan pertahun dilakukan dengan dua cara yaitu dengan dan tanpa memperhitungkan bunga. Biaya kepemilikan pertahun yang memperhitungkan bunga ditentukan oleh rumus (2.2) yang juga dapat ditulis sebagai:

$$A = P(A/P, i\%, n) \qquad (2.16)$$

Jika nilai sisa alat diperhitungkan, maka nilai S pun diubah menjadi nilai tahunan dan rumusnya adalah:

$$A = P\left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}\right) - S\left(\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right) \qquad (2,17)$$

Atau jika menggunakan simbol yang ada maka rumusnya adalah:

$$A = P(A/P, i\%, n) - S(A/F, i\%, n) \qquad (2,18)$$

Untuk menghitung biaya kepemilikan tahunan tanpa memperhitungkan bunga ditentukan oleh rumus:

$$A = \frac{P(n+1)}{2n^2} \qquad (2.19)$$

Jika nilai sisa diperhitungkan:

$$A = \frac{P(n+1) + S(n-1)}{2n^2} \qquad (2.20)$$

3.3. Biaya Pengoperasian Alat Berat

Biaya pengoperasian alat akan timbul setiap saat alat berat dipakai. Biaya pengoperasian meliputi biaya bahan bakar, gemuk, pelumas, perawatan dan perbaikan, serta alat penggerak atau roda. Operator yang menggerakkan alat termasuk dalam biaya pengoperasian alat. Selain itu mobilisasi dan demobilisasi alat juga merupakan biaya pengoperasian alat. Yang dimaksud dengan mobilisasi adalah pengadaan alat ke proyek konstruksi. Sedangkan yang dimaksud dengan demobilisasi adalah pengembalian alat dari proyek setelah alat tersebut tidak digunakan kembali.

3.3.1. Bahan Bakar

Jumlah bahan bakar untuk alat berat yang menggunakan bensin atau solar berbeda-beda. Rata-rata alat yang menggunakan bahan bakar bensin 0,06 galon per *horse-power* per jam, sedangkan alat yang menggunakan bahan bakar solar mengonsumsi bahan bakar 0,04 galon per horse-power per jam. Nilai yang didapat kemudian dikalikan dengan faktor pengoperasian. Untuk lebih jelasnya maka rumus penggunaan bahan bakar per jam adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{bensin}: BBM = 0{,}06 \times HP \times eff \\ &\text{solar}: BBM = 0{,}04 \times HP \times eff \end{aligned} \qquad (2.21)$$

3.3.2. Pelumas

Perhitungan penggunaan pelumas per jam (Q_p) biasanya berdasarkan jumlah waktu operasi dan lamanya penggantian pelumas. Perkiraannya dihitung dengan rumus:

$$Q_p = \frac{f \times hp \times 0{,}006}{7{,}4} + \frac{c}{t} \qquad (2.22)$$

Pada rumus (2.22) hp adalah *horse - power*, c adalah capasitas *crankcase,*

t adalah lama penggunaan pelumas dan f adalah faktor pengoperasian.

3.3.3. Roda

Perhitungan depresiasi alat berat beroda ban dengan alat berat beroda *crawler* berbeda. Umumnya *crawler* mempunyai depresiasi sama dengan depresiasi alat. Sedangkan ban mempunyai depresiasi yang lebih pendek daripada umur alat, artinya selama pemakaian alat ban diganti beberapa kali. Untuk alat beroda ban, umur ban dihitung tersendiri, demikian juga pemeliharaannya.

3.3.4. Pemeliharaan dan Perawatan Alat

Perbedaan mendasar dari pemeliharaan dan perawatan adalah pada besarnya pekerjaan. Perbaikan besar (*major repair*) akan mempengaruhi nilai depresiasi alat dan umur alat. Perbaikan besar ini dihitung pada alat. Di lain sisi, perbaikan kecil (*minor repair*) merupakan pemeliharaan normal yang dihitung pada pekerjaan.

3.3.5. Mobilisasi dan Demobilisasi Alat

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, mobilisasi adalah pengadaan alat ke proyek konstruksi dan demobilisasi adalah pengembalian alat dari proyek setelah alat tersebut tidak digunakan kembali. Jadi biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk mengangkut alat antara proyek dan garasi atau tempat penyimpanan alat. Biaya ini perlu diperhitungkan karena alat-alat berat umumnya kecuali truk tidak berjalan sendiri menuju lokasi proyek tetapi diangkut dengan menggunakan *lowbed trailer.*

Contoh 2.4:

Hitung biaya perjam alat beroda crawler dengan ketentuan seperti di bawah ini:

- mesin diesel 160 hp
- kapasitas crankcase 6 gal
- pelumas diganti setiap 100 jam
- faktor pengoperasian 0,6
- harga alat 400.000.000 rupiah tanpa nilai sisa alat
- pemakaian gemuk perjam 0,25 kg
- umur ekonomis alat 5 tahun (1 tahun dipakai 1400 jam)
- bunga pinjaman, pajak, asuransi 20%

Jawab:

konsumsi BBM perjam = 160 x 0,04 x 0,6 = 3,9 gal

konsumsi pelumas per jam = $\dfrac{160 \times 0{,}6 \times 0{,}006}{7{,}4} + \dfrac{6}{100} = 0{,}138$ gal

biaya kepemilikan per jam

dengan tabel:

= 400.000.000 (A/P,20,5) :1400
= 400.000.000 x 0,3343797:1400
= 95.5357 rupiah

dengan rumus:

$$= 400.000.000 \times \left(\frac{0{,}2(1+0{,}2)^5}{(1+0{,}2)^5 - 1}\right) \times \frac{1}{1400} = 95.5357 \text{ rupiah}$$

biaya perawatan per jam

perawatan dan pemeliharaan diasumsikan 100% dari depresiasi (metode garis lurus) = 400.000.000 : 5
= 80.000.000 rupiah/tahun
= 80.000.000 : 1400
= 57.143 rupiah

Uraian	Rp/jam
Pemeliharaan dan perawatan	57.143
BBM 3,9 gal @ Rp 2.500	9.750
Pelumas 0,138 gal @ Rp 60.000	8.280
Gemuk 0,25 kg @ Rp 2.000	500
Biaya pengoperasian per jam	**75.673**

Biaya total/jam = 75.673 + 95.537
= 171.210 rupiah

Contoh 2.5:

Hitung biaya perjam alat beroda ban dengan ketentuan sebagai berikut:

- mesin diesel 250hp
- kapasitas crankcase 14 gal
- pelumas diganti setiap 80 jam
- faktor pengoperasian 0,6
- harga alat 200.000.000 rupiah tanpa harga ban dan nilai sisa adalah 50.000.000 rupiah
- pemakaian gemuk per jam 0,25 kg
- umur ekonomis alat 5 tahun (1 tahun dipakai 1400 jam)
- harga ban 25.000.000 rupiah dengan masa pakai 5000 jam dan perbaikan ban 15% dari depresiasi ban

Jawab:

konsumsi BBM per jam = 250 x 0,04 x 0,6 = 6,0 gal

konsumsi pelumas per jam = $\dfrac{250 \times 0{,}6 \times 0{,}006}{7{,}4} + \dfrac{14}{80} = 0{,}30$ gal

biaya kepemilikan per tahun =

$$A = \frac{200.000.000(5+1) + 50.000.000(5-1)}{2 \times 5^2} = 28.000.000 \text{ rupiah}$$

biaya kepemilikan alat per jam $= \dfrac{140.000.000}{1400} = 20.000$ rupiah

biaya kepemilikan ban perjam = (umur = 5.000/1.400 = 3,57 tahun)

$$= \frac{25.000.000 \times (3{,}57+1)}{2 \times 3{,}57^2} \times \frac{1}{1400} = 3.202 \text{ rupiah}$$

biaya perawatan per jam =

alat:

perawatan dan pemeliharaan diasumsikan 50% dari depresiasi (metode garis lurus) = 200.000.000:5 x 0,5 = 20.000.000 rupiah/tahun
= 20.000.000:1400 =14.286 rupiah

ban:

perawatan dan pemeliharaan diasumsikan 15% dari depresiasi (metode garis lurus) = 25.000.000:5000 x 0,15 = 750 rupiah

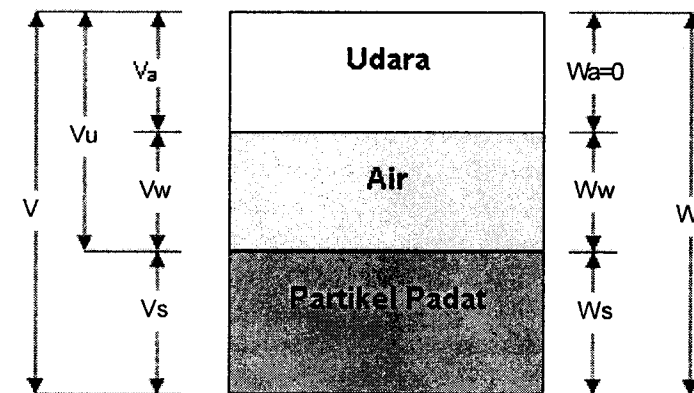
Uraian	Rp/jam
Pemeliharaan dan perawatan alat	14.286
Pemeliharaan dan perawatan ban	750
BBM 6 gal @ Rp 2.500	15.000
Pelumas 0,30 gal @ Rp 60.000	18.000
Gemuk 0,25 kg @ Rp 2.000	500
Biaya pengoperasian perjam	**48.536**

Biaya total/jam = 48.536 + 3.202 + 20.000
= 71.738 rupiah

BAB III DASAR-DASAR PEMINDAHAN MEKANIS

1. SIFAT-SIFAT DAN JENIS TANAH

Material yang ada di alam pada umumnya tidak homogen, tetapi merupakan material campuran. Material juga bervariasi dari jenis material yang berpori sampai yang padat. Dengan keadaan yang bervariasi seperti ini maka pada saat melakukan pemilihan alat berat yang akan dipakai di dalam proyek konstruksi otomatis jenis material di lapangan dan material yang akan dipakai merupakan hal yang perlu diperhatikan.

Material terdiri dari tiga unsur, yaitu air, udara, dan tanah. Hubungan dari ketiga unsur tersebut dinyatakan seperti pada Gambar 3.1.

Gambar 3.1. *Properti Massa Tanah*

Hubungan antara berat dan volume adalah:

1. Berat jenis total (γ, *bulk*):

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{(W_a + W_w + W_s)}{(V_a + V_w + V_s)} \qquad (3.1)$$

W adalah berat total, W_a adalah berat udara, W_w adalah berat air dan W_s adalah berat tanah. V adalah volume total, V_a adalah volume udara, V_w adalah volume air dan V_s adalah volume tanah.

2. Berat jenis kering (γ_d, *dry density*):

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{(V_a + V_w + V_s)} = \frac{\gamma}{(1+\omega)} \tag{3.2}$$

3. Kadar air (ω):

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \tag{3.3}$$

Material di tempat asalnya disebut dengan material asli atau material *in-situ* atau *bank material*. Bila suatu bagian dari material akan dipindahkan maka volume material yang dipindahkan tersebut akan berubah menjadi lebih besar daripada volume material di tempat asalnya. Material yang dipindahkan tersebut disebut dengan material lepas atau *loose material*. Demikian pula jika material yang telah dipindahkan kemudian dipadatkan maka volume material akan menyusut. Material yang telah dipadatkan disebut sebagai material padat atau *compacted material*.

Hampir seluruh material yang telah dipadatkan mempunyai volume yang lebih kecil daripada volume tanah asli atau material di tempat asalnya. Hal ini disebabkan karena pemadatan dapat menghilangkan atau memperkecil ruang atau pori di antara butiran material. Akan tetapi batuan pecah mempunyai volume tanah asli (*bank volume*) hampir sama dengan volume tanah yang dipadatkan (*compacted volume*). Pasir dan lempung padat tertentu bahkan mempunyai *compacted volume* lebih besar daripada *bank volume*.

Volume tanah asli atau material yang masih di tempat aslinya biasa-nya diberi satuan *bank cubic meters* (bcm) atau *bank cubic yards* (bcy). Material yang dipindahkan atau mengalami perubahan bentuk, seperti batuan yang diledakkan, umumnya dinamakan *loose material* (tanah

Gambar 3.2. *Perubahan Kondisi Tanah*

lepas). Volume dari material lepas diberi satuan *loose cubic meters* (lcm) atau *loose cubic yards* (lcy). Sedangkan material yang telah dipadatkan atau disebut dengan *compacted material*, volumenya diberi satuan *compacted cubic meters* (ccm) atau *compacted cubic yards* (ccy).

Volume material pada umumnya akan meningkat pada saat digali. Peningkatan volume ini diakibatkan oleh lepasnya ikatan antarpartikel tanah yang kemudian diisi udara. Perubahan volume ini disebut dengan pengembangan (*swell*). Hubungan antara kondisi tanah asli dengan tanah lepas ditentukan oleh faktor pemuatan atau *load factor* (*LF*) dan persentase pengembangan atau *swell percentage* (s_w). *LF* sangat bermanfaat dalam perhitungan volume material yang akan diangkut dari suatu tempat misalnya *quarry*. Rumus yang dipakai adalah:

$$LF = \frac{1}{1+s_w} \tag{3.4}$$

$$LF = \frac{V_b}{V_l} \tag{3.5}$$

Pada rumus (3.4) dan (3.5), V_l adalah volume lepas (satuan: lcm, lcy), V_b adalah volume asli (satuan: bcm, bcy). Nilai persentase pengembangan didapat dari:

$$s_w = \left(\frac{W_b}{W_l} - 1\right) \times 100 \tag{3.6}$$

Sementara itu, pada saat material dipadatkan, udara didorong ke luar dari ruang kosong antarpartikel tanah. Akibatnya tanah memenuhi volume lebih kecil dari saat kondisi asli maupun lepas. Hal ini disebut dengan penyusutan (*shrinkage*). Hubungan antara kondisi tanah asli dengan tanah dipadatkan ditentukan oleh faktor penyusutan atau *shrinkage factor* (SF) dan persentase penyusutan atau *shrinkage percentage* (s_h). Rumus yang menghubungkan kedua kondisi tersebut adalah:

$$SF = 1 - s_h \tag{3.7}$$

$$SF = \frac{V_c}{V_b} \tag{3.8}$$

V_c merupakan volume padat (satuan: ccm, ccy). Nilai s_h didapat dari:

$$s_h = \left(1 \quad \frac{W_b}{W_c}\right) \times 100 \tag{3.9}$$

Tabel 3.1. s_w dan LF untuk beberapa jenis tanah

Jenis Tanah	Persentase Mengembang (%)	Faktor Pemuatan
Lempung kering	35	0,74
Lempung basah	35	0,74
Tanah kering	25	0,80
Tanah basah	25	0,80
Tanah dan kerikil	20	0,83
Kerikil kering	12	0,89
Kerikil basah	14	0,88
Batu kapur	60	0,63
Batu hasil peledakan	60	0,63
Pasir kering	15	0,87
Pasir basah	15	0,87
Batuan sedimen	40	0,71

(Sumber : *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Contoh 3.1:

Jika sebanyak 2000 bcm tanah kering dipindahkan maka berapa volume tanah tersebut dalam kondisi lepas? Berapa volume tanah tersebut dalam kondisi padat jika s_h = 10%?

Jawab:

Dari Tabel 3.1 didapat s_w = 25% = 0,25

$$\frac{1}{1+0{,}25} = \frac{2000}{V_l}$$

V_l = 2500 lcm

$$1 - 0{,}1 = \frac{V_c}{2000}$$

V_c = 1800 ccm

2. WAKTU SIKLUS

Siklus kerja dalam pemindahan material merupakan suatu kegiatan yang dilakukan berulang. Pekerjaan utama di dalam kegiatan tersebut adalah menggali, memuat, memindahkan, membongkar muatan dan kembali ke kegiatan awal. Semua kegiatan tersebut dapat dilakukan oleh satu alat atau oleh beberapa alat.

Waktu yang diperlukani dalam siklus kegiatan di atas disebut waktu siklus atau *cycle time* (CT). Waktu siklus terdiri dari beberapa unsur. Pertama adalah waktu muat atau *loading time* (LT). Waktu muat merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu alat untuk memuat material ke dalam alat angkut sesuai dengan kapasitas alat angkut tersebut. Nilai LT dapat ditentukan walaupun tergantung dari jenis tanah, ukuran unit pengangkut (*blade*, *bowl*, *bucket*, dst.), metode dalam pemuatan dan efisiensi alat.

Unsur kedua adalah waktu angkut atau *hauling time* (HT). Waktu angkut merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu alat, untuk bergerak dari tempat pemuatan ke tempat pembongkaran. Waktu angkut tergantung dari jarak angkut, kondisi jalan, tenaga alat, dan lain-lain. Pada saat alat kembali ke tempat pemuatan maka waktu yang diperlukan untuk kembali disebut waktu kembali atau *return time* (RT). Waktu kembali lebih singkat daripada waktu berangkat karena kendaraan dalam keadaan kosong.

Waktu pembongkaran atau *dumping time* (DT) juga merupakan unsur penting dari waktu siklus. Waktu ini tergantung dari jenis tanah, jenis alat dan metode yang dipakai. Waktu pembongkaran merupakan bagian yang terkecil dari waktu siklus.

Unsur terakhir adalah waktu tunggu atau *spotting time* (ST). Pada saat alat kembali ke tempat pemuatan adakalanya alat tersebut perlu antre dan menunggu sampai alat diisi kembali. Saat mengantre dan menunggu ini yang disebut waktu tunggu. Dengan demikian:

$$CT = LT + HT + DT + RT + ST \qquad (3.10)$$

3. EFISIENSI ALAT

Dalam pelaksanaan pekerjaan dengan menggunakan alat berat terdapat faktor yang mempengaruhi produktivitas alat yaitu efisiensi alat. Bagaimana efektivitas alat tersebut bekerja tergantung dari beberapa hal yaitu:

1. Kemampuan operator pemakai alat,
2. Pemilihan dan pemeliharaan alat,
3. Perencanaan dan pengaturan letak alat,
4. Topografi dan volume pekerjaan,
5. Kondisi cuaca,
6. Metode pelaksanaan alat.

Cara yang umum dipakai untuk menentukan efisiensi alat adalah dengan menghitung berapa menit alat tersebut bekerja secara efektif dalam satu jam. Contohnya jika dalam satu jam waktu efektif alat bekerja adalah 45 menit maka dapat dikatakan efisiensi alat adalah 45/60 atau 0,75.

4. PRODUKTIVITAS DAN DURASI PEKERJAAN

Dalam menentukan durasi suatu pekerjaan maka hal-hal yang perlu diketahui adalah volume pekerjaan dan produktivitas alat tersebut. Produktivitas adalah perbandingan antara hasil yang dicapai (*output*) dengan seluruh sumber daya yang digunakan (*input*). Produktivitas alat tergantung pada kapasitas dan waktu siklus alat. Rumus dasar untuk mencari produktivitas alat adalah:

$$Produktivitas = \frac{kapasitas}{CT} \qquad (3.11)$$

Umumnya waktu siklus alat ditetapkan dalam menit sedangkan produktivitas alat dihitung dalam produksi/jam sehingga perlu ada perubahan dari menit ke jam. Jika faktor efisiensi alat dimasukkan maka rumus di atas menjadi:

$$Produktivitas = kapasitas \times \frac{60}{CT} \times efisiensi \qquad (3.12)$$

Pada umumnya dalam suatu pekerjaan terdapat lebih dari satu jenis alat yang dipakai. Sebagai contoh pekerjaan penggalian dan pemindahan tanah. Umumnya alat yang dipakai adalah *excavator* untuk menggali, loader untuk memindahkan hasil galian ke dalam bak truk dan truk digunakan untuk pemindahan tanah. Karena ketiga jenis contoh alat tersebut mempunyai produktivitas yang berbeda-beda, maka perlu diperhitungkan jumlah masing-masing alat. Jumlah alat perlu diperhitungkan untuk mempersingkat durasi pekerjaan. Salah satu cara menghitung jumlah alat adalah:

1. Tentukan alat mana yang mempunyai produktivitas terbesar.
2. Asumsikan alat dengan produktivitas terbesar berjumlah satu.
3. Hitung jumlah alat jenis lainnya dengan selalu berpatokan pada alat dengan produktivitas terbesar.

Untuk menghitung jumlah alat-alat lainnya maka gunakan rumus:

$$Jumlah_{alat1} = \frac{Produktivitas_{terbesar}}{Produktivitas_{alat1}} \qquad (3.13)$$

Setelah jumlah masing-masing alat diketahui maka selanjutnya perlu dihitung durasi pekerjaan alat-alat tersebut. Salah satu caranya dengan menentukan berapa produktivitas total alat setelah dikalikan jumlahnya. Kemudian dengan membandingkan produktivitas total masing-masing alat dicari produktivitas total terkecil. Dari sini akan didapat lama pekerjaan dengan menggunakan rumus:

$$Durasi = \frac{Volume_{pekerjaan}}{Produktivitas_{terkecil}} \qquad (3.14)$$

5. GAYA YANG MEMPENGARUHI GERAKAN ALAT BERAT

Ada beberapa gaya yang mempengaruhi gerakan alat berat. Gaya-gaya tersebut antara lain tahanan gelinding atau *rolling resistance* (RR), tahanan kelandaian atau *grade resistance* (GR), dan gabungan kedua tahanan tersebut yaitu *total resistance* (TR).

5.1. Tahanan Gelinding (*Rolling Resistance*, RR)

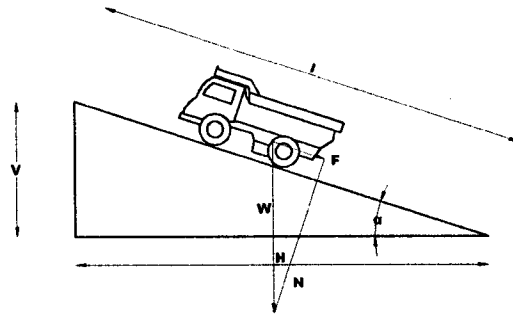
Tahanan gelinding merupakan suatu gaya yang terjadi akibat gesekan roda alat yang sedang bergerak dengan permukaan tanah. Besar tahanan ini akan berbeda pada setiap jenis dan kondisi permukaan tanah atau jalan dan juga sangat tergantung dari tipe roda alat berat. Semakin kasar permukaan maka tahanan gelindingnya akan semakin besar. Diperkirakan diperlukan tahanan gelinding alat sebesar 1,5 sampai 2,0 % berat alat agar alat tersebut dapat bergerak. Tabel berikut berisi besarnya tahanan gelinding berdasarkan jenis permukaan tanah dan tipe roda.

Tabel 3.2.
Tahanan Gelinding, %

Tipe Permukaan	RodaCrawler	Roda Ban	
		Biasa	Radial
Jalan (pengerasan lentur maupun kaku) dengan permukaan keras dan mulus, dipadatkan dan terpelihara baik	0	1,5	1,2
Jalan tanah dengan permukaan mulus dan keras, dipadatkan dan terpelihara baik	0	2,0	1,7
Jalan tanah dengan permukaan sedikit berlumpur dan (pemeliharaan tidak berkala)	0	3,0	2,5
Jalan tanah berlumpur kurang terpelihara	0	4,0 – 5,0	4,0 – 5,0
Jalan tanah berlumpur tidak dipadatkan dan tidak terpelihara	0	8,0 – 14,0	8,0 – 14,0
Pasir lepas dan kerikil	2,0	10,0	10,0
Jalan tanah sangat berlumpur	8,0	20,0	20,0

(Sumber : *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

5.2. Tahanan Kelandaian (*Grade Resistance*, GR)

Pada saat alat berat bergerak di permukaan yang menanjak maka selain tahanan gelinding ada gaya yang menahan alat tersebut. Gaya tersebut dinamakan tahanan kelandaian. Yang dimaksud dengan kenaikan permukaan sebanyak 1% adalah kenaikan sebanyak 1 m untuk setiap 100 m jarak horisontal. Untuk kenaikan 1% diperlukan tahanan sebesar 10 kg untuk setiap 1ton berat alat agar alat tersebut dapat bergerak naik.

Gambar 3.3. *Arah Tahanan*

Dari Gambar 3.3, yang dimaksud dengan tahanan kelandaian adalah F. F/W sama dengan V/l, maka tahanan kelandaian dapat dirumuskan menjadi:

$$GR = F = V/l \times W \quad (3.15)$$

Untuk kelandaian lebih kecil dari 10%, V/l = sin $\alpha \approx$ tan α, maka

$$F = W \tan \alpha \quad (3.16)$$

Jika

$$\tan\alpha = \frac{V}{H} = \frac{G\%}{100} \quad (3.17)$$

dan G% adalah gradien maka

$$F = W \times \frac{G\%}{100} \quad (3.18)$$

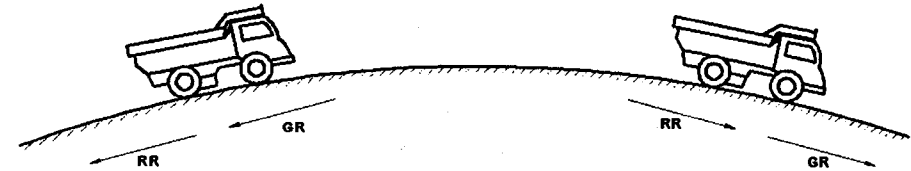
Jika W = 1000 kg/ton, maka rumus di atas menjadi

$$GR = F = 10kg/ton \times G\% \quad (3.19)$$

5.3. Total Tahanan (*Total Resistance*, TR)

Total tahanan merupakan jumlah dari tahanan gelinding dan tahanan kelandaian, dengan rumus:

$$TR = RR \pm GR \quad (3.20)$$

Nilai GR akan berubah berdasarkan keadaan permukaan jalan. Pada jalan naik arah GR sama dengan arah RR sehingga rumus menjadi TR = RR + GR. Sedangkan pada jalan menurun arah GR berlawanan dengan arah RR sehingga rumus menjadi TR = RR – GR.

Gambar 3.4.
Tahanan Gelinding dan Tahanan Kelandaian pada Jalan Menanjak dan Jalan Menurun

Contoh 3.2:

Suatu alat berat beroda *crawler* bergerak pada permukaan tanah aspal kondisi baik yang menurun dengan *slope* 2%. Berapa total *grade* yang dialami alat tersebut?

Jawab:

Dari tabel 3.2, RR = 0 % maka:
TR = 3% - 2% = 1%

6. PEMOTONGAN DAN PENIMBUNAN TANAH

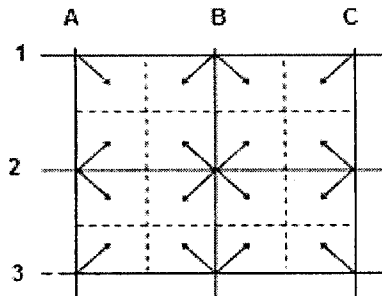
Permukaan tanah pada umumnya tidak merupakan tanah datar. Pada saat suatu proyek akan dikerjakan maka permukaan tanah harus diratakan. Tanah yang ketinggiannya melebihi elevasi yang diinginkan harus dipotong, sedangkan tanah yang ketinggiannya kurang dari elevasi yang diinginkan harus ditimbun. Ada beberapa cara yang dipakai untuk menentukan volume tanah yang harus dibuang atau ditimbun. Untuk proyek-proyek bangunan umumnya menggunakan metode *grid,* sedangkan untuk proyek jalan umumnya metode yang dipakai adalah metode ruas. Metode lain yang juga dipakai untuk proyek jalan adalah metode diagram massa.

6.1. Metode Grid

Pada metode ini, luas tanah dibagi menjadi beberapa sektor dengan luas yang sama. Semakin banyak pembagian sektor dalam suatu luas tanah maka akurasi dari angka yang dihasilkan akan semakin baik. Pada titik-titik persimpangan diukur ketinggian tanah di titik itu dan ketinggian yang diinginkan. Untuk menentukan volume tanah, maka perbedaan angka ketinggian dikalikan dengan luas yang dicakup oleh titik tersebut. Dengan menjumlahkan volume pada setiap titik maka akan didapat volume total tanah yang harus dipotong dan yang harus ditimbun.

Jika dilakukan penggambaran, maka pada setiap persimpangan titik dicatat data-data yang dibutuhkan, seperti yang terlihat pada gambar 3.5. Setelah itu, dibuat tabel untuk menghitung volume tanah galian dan timbunan. Pada Gambar 3.6 dapat dilihat bagaimana perhitungan luas area yang ditentukan pada sebuah titik. Sebagai contoh, pada titik 1-A, luas area yang ditentukan oleh titik tersebut adalah 0,25 kali luas sektor atau 0,25A (jika luas sektor dinotasikan dengan A). Sedangkan 1-B adalah 2 ´ 0,25 A dan 2-B adalah 4 ´ 0,25 A.

Ketinggian yang diinginkan	Ketinggian yang sebenarnya
Kedalaman penggalian	Kedalaman penimbunan

Gambar 3.5.
Data yang Tercatat pada Setiap Persimpangan

Gambar 3.6.
Pembagian Sektor untuk Setiap Titik

Contoh 3.3:
Jika diketahui data permukaan adalah sebagai berikut:

		A		B		C
1	4,2	6,5	4,4	5,0	4,6	3,0
2	2,3 4,4	5,1	0,6 4,6	3,2	0,0 4,8	2,8
3	0,7 4,6	3,6	4,8	1,4 2,0	5,0	2,0 5,3
4	4,8	1,0 1,9	5,0	2,8 4,0	0,3 5,2	8,2
5	5,0	2,9 3,0	5,2	1,0 3,8	3,0 5,4	6,4
		2,0		1,4	1,0	

dengan luas setiap grid adalah 4 x 8 m², berapakah volume tanah galian dan timbunan?

Jawab:

Titik	Elev. Baru	Elev. Lama	Tinggi Gali(m)	Tinggi Timb.(m)	Frek.	Luas Tetap(m²)	Vol. Gali(m³)	Vol. Timb.(m³)
1A	4,2	6,5	2,3	0,0	1	32	73,6	0,0
1B	4,4	5,0	0,6	0,0	2	32	38,4	0,0
1C	4,6	3,0	0,0	1,6	1	32	0,0	51,2
2A	4,4	5,1	0,7	0,0	2	32	44,8	0,0
2B	4,6	3,2	0,0	1,4	4	32	0,0	179,2
2C	4,8	2,8	0,0	2,0	2	32	0,0	128
3A	4,6	3,6	0,0	1,0	2	32	0,0	64
3B	4,8	2,0	0,0	2,8	4	32	0,0	358,4
3C	5,0	5,3	0,3	0,0	2	32	19,2	0,0
4A	4,8	1,9	0,0	2,9	2	32	0,0	185,6
4B	5,0	4,0	0,0	1,0	4	32	0,0	128
4C	5,2	8,2	3,0	0,0	2	32	192	0,0
5A	5,0	3,0	0,0	2,0	1	32	0,0	64
5B	5,2	3,8	0,0	1,4	2	32	0,0	89,6
5C	5,4	6,4	1,0	0,0	1	32	32	0,0
Total							**400**	**1248**

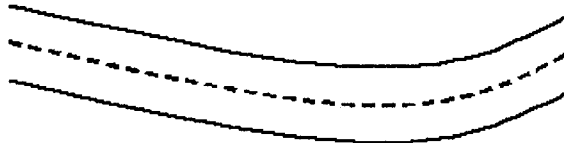
Elevasi permukaan selain diukur sendiri juga dapat dihitung dari kontur-kontur suatu daerah yang biasanya bisa didapat dari badan pemetaan. Untuk menentukan ketinggian suatu titik yang ada di antara dua kontur maka perhitungannya dapat dilakukan dengan menggunakan interpolasi. Rumus interpolasi adalah sebagai berikut:

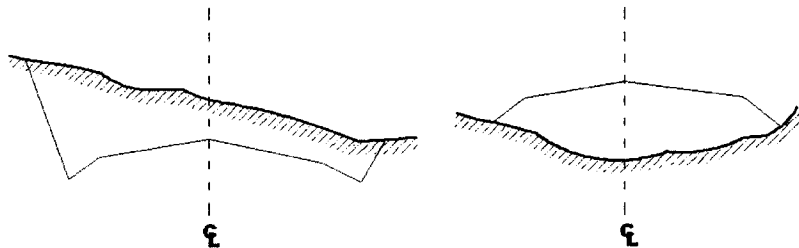
$$x_i = x_r + \frac{j_i}{j_t} \times (x_t - x_r) \qquad (3.21)$$

Pada rumus 3.21, x_i adalah ketinggian yang ingin dicari, sedangkan x_t dan x_r adalah ketinggian kontur yang lebih tinggi dan lebih rendah dari x_i. j_t adalah jarak antara kedua kontur dan j_i adalah jarak antara x_i dan x_r (berdasarkan Gambar 3.7).

Gambar 3.7. *Peta Kontur*

6.2. Metode Ruas

Pada gambar rencana suatu proyek jalan, misalnya, terdapat suatu garis yang disebut garis as jalan. Garis as jalan tersebut merupakan garis tengah suatu rencana jalan. Panjang garis as jalan menentukan panjang dari jalan yang akan dibuat. Garis as jalan akan terlihat pada gambar rencana sebagai alinyemen horisontal seperti pada Gambar 3.8.

Gambar 3.8. *Alinyemen Horisontal*

Untuk menghitung volume tanah galian dan timbunan pada area rencana jalan tersebut maka garis as jalan harus dibagi menjadi beberapa ruas yang sama panjang atau yang juga dikenal dengan istilah stasiun. Pada setiap titik pertemuan ruas diadakan survei lapangan mengenai ketinggian elevasi setiap sisi dari as jalan. Langkah selanjutnya adalah dengan menggambarkan hasil survei yang menunjukkan elevasi yang sebenarnya dan yang diinginkan pada titik tersebut. Gambar ini disebut sebagai *Cross Section* atau penampang melintang jalan (Gambar 3.9).

Gambar 3.9. *Penampang Melintang Jalan*

Karena bentuk permukaan biasanya tidak beraturan maka bentuk permukaan tersebut dapat disederhanakan ke suatu bentuk lain seperti segitiga, trapesium, dan lain-lain. Kemudian hitung luas daerah (secara vertikal) yang akan digali dan akan ditimbun. Dari hasil perhitungan, dengan mengalikan jarak antara titik maka akan didapat volume tanah galian dan timbunan. Jika diturunkan dalam bentuk rumus maka:

$$Volume = spasi \times \left(A_1 + A_N + \frac{\sum (A_2 \ldots A_{N-1})}{2} \right) \qquad (3.22)$$

N adalah jumlah potongan melintang atau stasiun (Sta). Untuk mendapatkan hasil yang akurat jumlah N dapat diperbanyak. A_N adalah luas galian atau timbunan pada stasiun terakhir.

Contoh 3.4:

Jalan sepanjang 800 meter akan dibangun. Pada setiap stasiun dilakukan survei lapangan dengan hasil adalah sebagai berikut:

Sta	Luas galian (m²)	Luas timbunan (m²)
0.000	55	30
0.100	20	15
0.200	25	80
0.300	10	99
0.400	18	75
0.500	25	50
0.600	22	40
0.700	32	25
0.800	33	20

Tentukan volume tanah galian dan timbunan pada rencana jalan tersebut?

Jawab:

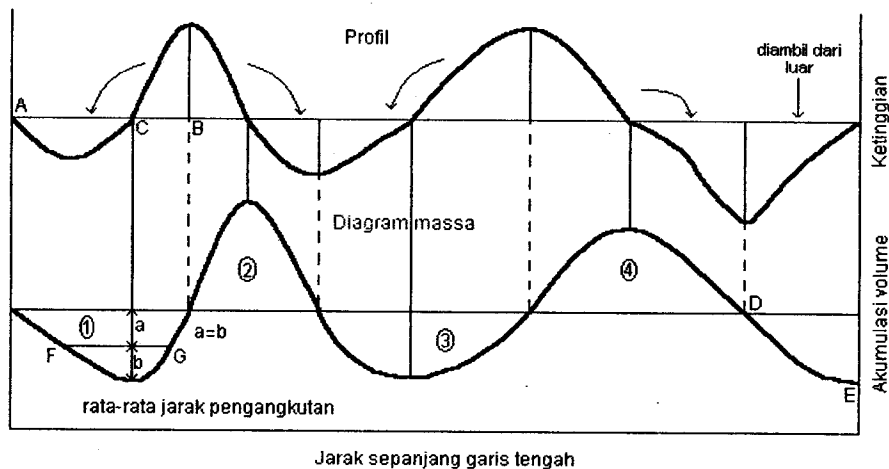
Untuk memudahkan perhitungan volume tanah galian dan timbunan maka dari data di atas dapat dibuat tabel. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Sta	Pjg. Ruas (m)	Luas Gal. (m²)	Rata-rata Gal. (m²)	Luas Timb. (m²)	Rata-rata Timb. (m²)	Vol. Gal. (m³)	Vol. Tmb. (m³)
0.000		55		30			
	100		37,5		22,5	3750	2250
0.100		20		15			
	100		22,5		47,5	2250	4750
0.200		25		80			
	100		17,5		89,5	1750	8950
0.300		10		99			
	100		14		87	1400	8700
0.400		18		75			
	100		21,5		62,5	2150	6250
0.500		25		50			
	100		23,5		45	2350	4500
0.600		22		40			
	100		27		32,5	2700	3250
0.700		32		25			
	100		32,5		22,5	3250	2250
0.800		33		20			
Total						**19600**	**40900**

6.3. Metode Diagram Massa (*Mass Haul Diagram*)

Metode ini merupakan kurva yang menggambarkan akumulasi volume galian dan timbunan sepanjang garis jalan. Dengan metode diagram massa maka dapat diketahui:

1. Panjang dan arah pemindahan dengan jarak yang seimbang.
2. Rata-rata jarak pemindahan.
3. Lokasi dan jumlah tanah yang diambil dari sumber lain serta jumlah tanah buangan.

Contoh dari penggunaan metode diagram massa dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 3.10. *Diagram Massa*

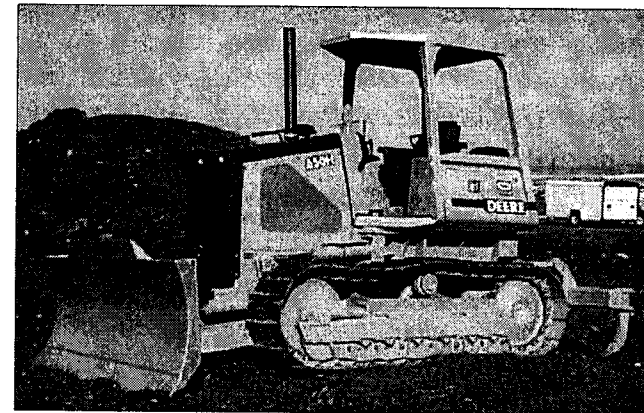
Penjelasan dari gambar di atas adalah:

a. Tiap ruas keseimbangan, seperti ruas 1 dibatasi oleh titik A dan B,
b. Tentukan titik C pada profil yang merupakan titik paling rendah dari diagram massa pada ruas 1 dan merupakan perubahan dari *fill* ke *cut*,
c. Arah pengangkutan dalam setiap ruas keseimbangan selalu dari *cut* ke *fill*,
d. Ulangi langkah 2,3,4 pada tiap ruas,
e. Antara titik D dan E mempunyai nilai negatif yang berarti perlunya mengambil tanah dari luar,
f. Perkiraan jarak pengangkutan rata-rata untuk ruas 1 adalah F-G

BAB IV
DOZER

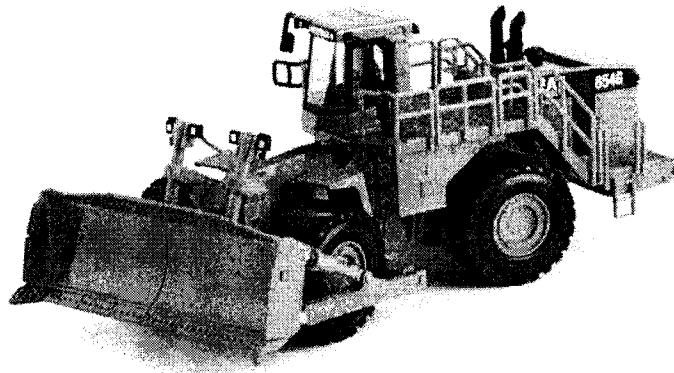
1. PENDAHULUAN

Pada proyek konstruksi terdapat bermacam-macam alat pengolah lahan seperti *dozer, ripper,* motor *grader,* dan *scraper*. Fungsi alat pengolah lahan adalah antara lain untuk:

1. Mengupas lapisan permukaan,
2. Membuka jalan baru,
3. Menyebarkan material.

Gambar 4.1. *Dozer Beroda Crawler*
(Sumber: *http://www.badgerbattery.com/My%20Pictures*)

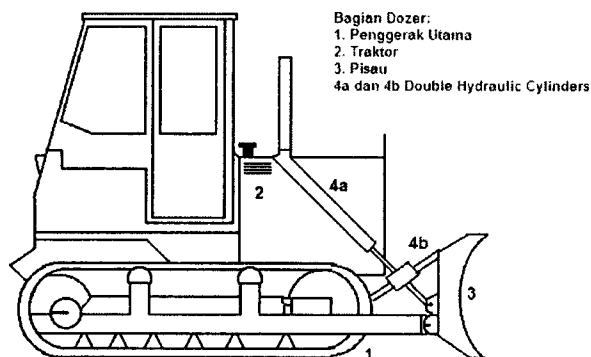
Dozer merupakan traktor yang dipasangkan pisau atau *blade* di bagian depannya. Pisau berfungsi untuk mendorong, atau memotong material yang ada di depannya. Jenis pekerjaan yang biasanya menggunakan *dozer* atau buldozer adalah:

1. Mengupas top soil dan pembersihan lahan dari pepohonan.
2. Pembukaan jalan baru.
3. Memindahan material pada jarak pendek sampai dengan 100 m.

4. Membantu mengisi material pada *scraper.*
5. Menyebarkan material.
6. Mengisi kembali saluran.
7. Membersihkan *quarry.*

Gambar 4.2. *Dozer Beroda Ban*
(Sumber: *http://www.constructiondiecast.com/pics-150*)

Dozer terdiri dari tiga bagian, yaitu penggerak utama (*prime mover*), traktor dan pisau (*blade*) di bagian depan.

2. PENGGERAK (*PRIME MOVER*)

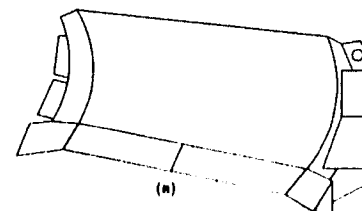
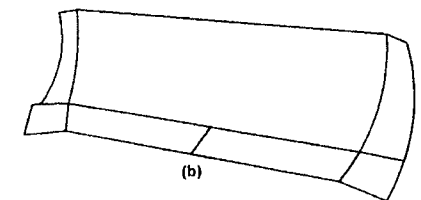
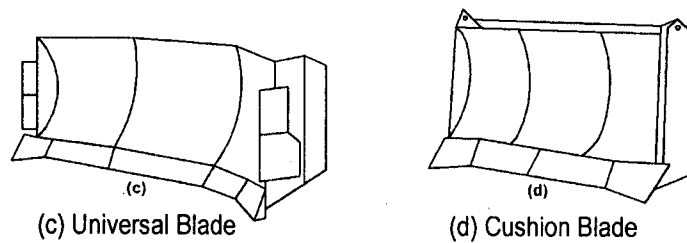
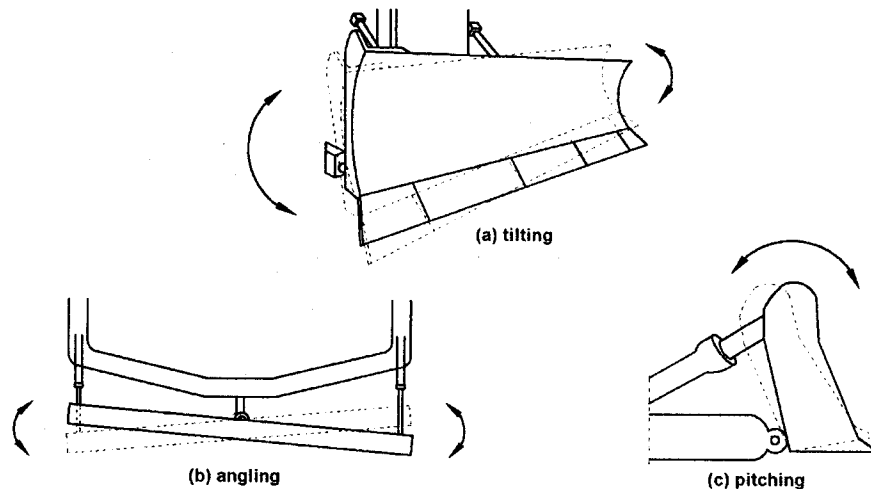
Ada dua macam alat penggerak dozer, yaitu roda *crawler* dan roda ban. Alat penggerak dozer umumnya adalah *crawler*. Jenis dozer beroda crawler terbagi menjadi ringan, sedang dan berat. Jenis ini digunakan untuk menarik dan mendorong beban berat serta mampu bekerja pada permukaan kasar dan berair.

Gambar 4.3. *Bagian dari Dozer*

Sedangkan dozer beroda ban dapat bergerak lebih cepat sehingga lebih ekonomis. Pemakaian alat ini umumnya pada permukaan seperti beton dan aspal. Dilihat dari jarak tempuh maka dozer beroda ban mempunyai jarak tempuh lebih besar daripada crawler dozer.

3. PISAU (*BLADE*)

Ada dua fungsi utama dari pisau, yaitu mendorong material ke depan (*drifting*) dan mendorong material ke samping (*side casting*). Permukaan pisau umumnya melengkung sehingga material bergerak berputar saat didorong. Pisau dihubungkan dan dikendalikan pada traktor oleh 2 pasang *double hydraulic cylinder*. Pasangan pertama bekerja untuk mengatur letak muka pisau sehingga kedalaman penggalian dapat diatur. Sedangkan pasangan yang kedua bekerja untuk menaikkan dan menurunkan pisau.

Ada beberapa macam jenis pisau yang dipasangkan pada dozer. Pemilihan jenisnya tergantung pada jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Jenis pisau yang umum dipakai adalah:

1. *Straight blade (S-blade)*. S-blade biasanya digunakan untuk pekerjaan pengupasan dan penimbunan tanah. Blade jenis ini dapat bekerja pada tanah keras.
2. *Angle blade (A-blade)***.** A-blade mempunyai lebar yang lebih besar 0.3 sampai 0.6 m daripada S-blade. Blade jenis ini digunakan untuk menyingkirkan material ke sisinya, penggalian saluran, dan pembukaan lahan.
3. *Universal blade (U-blade)***.** U-blade juga lebih lebar daripada S-blade. U-blade dipakai untuk reklamasi lahan. Blade jenis ini mempunyai kemampuan untuk mengangkut material dalam jumlah besar pada jarak tempuh yang relatif jauh. Umumnya material yang ditangani adalah material yang ringan seperti tanah lepas.
4. *Cushion blade (C-blade)***.** C-blade umumnya dipasang pada traktor yang besar yang digunakan untuk mendorong *scraper.* Blade jenis ini lebih pendek daripada S-blade.

(a) Straight Blade (b) Angle Blade

(c) Universal Blade (d) Cushion Blade

Gambar 4.4. *Macam-macam Blade*

Gambar 4.5. *Gerakan Blade*

Tabel 4.1. Pisau Buldozer

Ukuran mesin (hp)	60-70	100-150	200	300	400
Berat mesin (ton)	5-8	10-12	16	25	35
Panjang pisau (m)	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Tinggi pisau (m)	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8

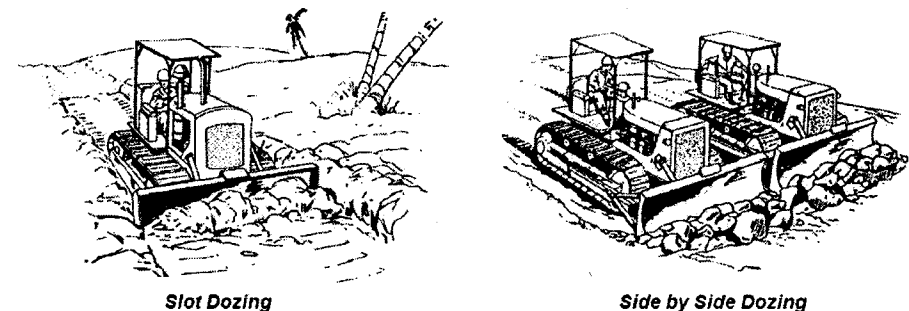
Pemasangan blade mempengaruhi gerakannya yang bervariasi tergantung dari kebutuhan pekerjaan. Gerakan blade terdiri dari *tilt*, *pitch*, dan *angle*. Jika ujung blade bergerak secara vertikal maka gerakan ini disebut *tilt*. Biasanya sudut kemiringan gerakan ini maksimal 15°. Sedangkan jika sisi atas blade bergerak menjauhi atau mendekati badan traktor maka gerakan ini disebut *pitch*. Angling adalah gerakan blade pada

sisi samping yang menjauhi atau mendekati badan traktor. Gerakan miring secara horisontal ke kanan dan kiri ini sejauh kurang lebih 25°.

4. TEKNIK PENGOPERASIAN

Dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi dengan menggunakan dozer ada dua teknik yang sering digunakan, yaitu *side by side dozing* dan *slot dozing*. Pada teknik *side by side dozing*, dua dozer bekerja bersama secara berdampingan. Pisau kedua dozer dihimpitkan sedekat mungkin. Hal ini untuk menghindari *spillage* atau keluarnya material dari pisau. Kelemahan dari teknik ini adalah manuver alat yang lama sehingga tidak praktis untuk pemindahan berjarak kurang dari 15 m dan lebih dari 10 m.

Sementara itu, pada teknik *slot dozing* dibuat semacam penghalang di sisi pisau, yang berfungsi untuk menghindari adanya *spillage* dari *dozer*. Penggunaan teknik ini dapat meningkatkan produktivitas.

Slot Dozing *Side by Side Dozing*

Gambar 4.6. *Teknik Pengoperasian Dozer*
(Sumber: *http://www.tpub.com/content/engine/14081/img*)

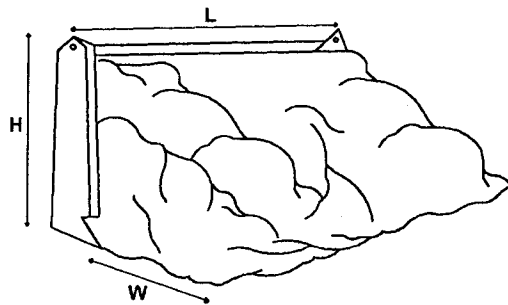
5. PERHITUNGAN PRODUKTIVITAS DOZER

Produktivitas dozer sangat tergantung pada ukuran *blade,* kemampuan traktor dan jarak tempuh. Perhitungan produktivitas ditentukan dari volume tanah yang dipindahkan dalam 1 siklus dan jumlah siklus dalam 1 jam pengoperasian.

5.1. Kapasitas Blade

Kapasitas *blade* dapat dicari dari data pada tabel atau melalui perhitungan. Rumus dari kapasitas pisau (dalam l cm) adalah:

$$V_l = \frac{WHL}{2} \quad (4.1)$$

Nilai W=1,5 sampai 1,67 H (dalam meter) untuk sudut antara 30-33°.

Gambar 4.7. *Dimensi Pisau untuk Menghitung Produktivitas*

5.2. Waktu Siklus

Pengisian pisau umumnya dilakukan pada 40-50 ft (13-17 m) pertama dari jarak tempuh. Pada saat kembali *blade* dalam keadaan kosong. Waktu angkut dan kembali buldozer dapat ditentukan dari jarak dibagi kecepatan untuk setiap variabel. Perhitungan waktu siklus ditentukan juga oleh suatu waktu yang konsisten (*fixed time*, FT) yang merupakan waktu yang dibutuhkan buldozer untuk mempercepat dan memperlambat laju kendaraan. FT pada umumnya berkisar antara 0,10-0,15 menit. Waktu yang diperlukan oleh dozer untuk melakukan 1 siklus adalah:

$$CT = FT + HT + RT \qquad (4.2)$$

Tabel 4.2. Perkiraan Kapasitas Pisau

Perkiraan Ukuran (m×m)	Kapasitas (lcm)			Model Dozer
	A-blade	S-blade	U-blade	
4,16 × 1,033	3,18	-	-	D6H
3,36 × 1,257	-	3,89	-	D6H
4,50 × 1,111	3,89	-	-	D7H
3,90 × 1,363	-	5,16	-	D7H
3,98 × 1,553	-	-	8,34	D7H
4,96 × 1,174	4,66	-	-	D8N
4,26 × 1,740	-	-	11,70	D8N
3,88 × 0,910	2,5	-	-	D6D
3,21 × 1,127	-	3,77	-	D6D
4,26 × 0,960	2,90	-	-	D7G
3,65 × 1,274	-	4,2	-	D7G
3,82 × 1,274	-	-	5,80	D7G

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

5.3. Produktivitas

Perhitungan produktivitas maksimum buldozer dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\text{Prod} = V_l \times \frac{60}{\text{CT}} \times efisiensi \qquad (4.3)$$

Contoh 4.1:

Hitung produktivitas buldozer yang digunakan untuk memindahkan pasir kering sejauh 50 m dengan menggunakan *S-blade* yang berdimensi 3,36 m panjang dan 1,257 m tinggi. Diperkirakan kecepatan dozer pada saat pengisian adalah 3,5 km/jam dan kecepatan kembali 4 km/jam. Waktu tetap alat adalah 0,3 menit. Efisiensi alat adalah 50/60.

Jawab:

Kapasitas alat:

$$V_l = \frac{(1{,}5 \times 1{,}257) \times 1{,}257 \times 3{,}36}{2} = 3{,}98\text{lcm}$$

Perhitungan waktu siklus:

$$\text{HT} + \text{RT} = \frac{50 \times 60}{1000 \times 3{,}5} + \frac{50 \times 60}{1000 \times 4} = 1{,}61\,\text{menit}$$

CT = 1,61 + 0,3 = 1,91 menit

Produktivitas:

$$\text{Prod} = \frac{50/60 \times 3{,}98}{1{,}91} \times 60 = 104{,}19\text{lcm/jam}$$

Cara lain menghitung produktivitas dozer adalah dengan menggunakan kurva dan rumus dari *Caterpillar* seperti yang terlihat pada Gambar 4.7. Produktivitas pada kurva merupakan produktivitas ideal yang didasarkan atas jenis *blade* dan jarak pemindahan. Untuk mencari produktivitas sebenarnya dari sebuah buldozer, produktivitas ideal yang didapat dari kurva dikalikan beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas. Faktor-faktor tersebut adalah seperti yang dijabarkan dalam Tabel 4.3. Rumus yang dipakai untuk menghitung produktivitas adalah:

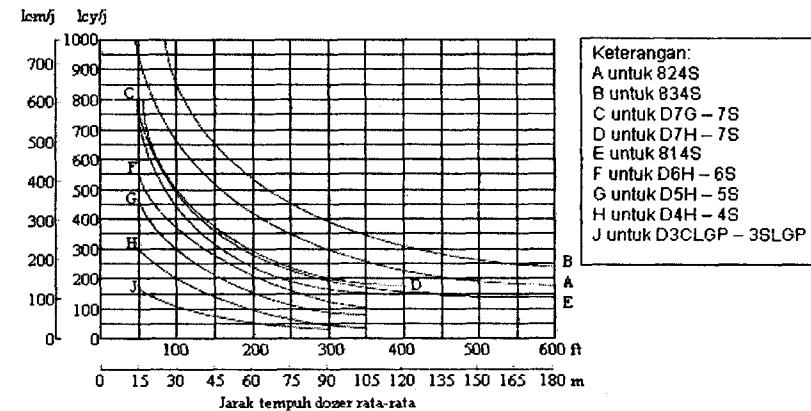
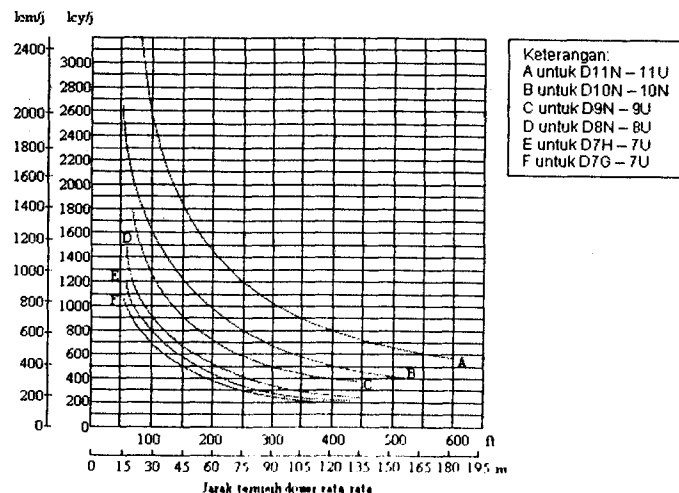
Prod = maksimum prod. dari kurva x faktor koreksi (4.4)

Kondisi pada kurva merupakan kondisi ideal di mana:

- Efisiensi kerja : 60 min (100%)
- Fixed time : 0,05 menit
- Berat tanah : 2300 lb/lcy dengan 0,76 faktor pemuatan

Tabel 4.3. Faktor Koreksi

Keterangan	Roda Crawler	Roda Ban
Operator:		
Baik	1	1
Sedang	0,75	0,60
Buruk	0,60	0,50
Material:		
Timbunan tanah lepas	1,20	1,20
Sulit dipotong		
dengan tilt silinder	0,80	0,75
dengan kabel kontrol	0,70	-
Sulit didorong	0,80	0,80
Batuan hasil peledakan	0,60-0,70	-
Metode gusuran:		
Celah	1,20	1,20
Berdampingan	1,15-1,25	1,15-1,25
Penglihatan terganggu (debu, kabut)	0,80	0,70
Slope		
Menanjak		
10%	0,80	0,80
20%	0,475	0,475
30%	0,30	0,30
Menurun		
10%	1,20	1,20
20%	1,42	1,42
30%	1,60	1,60

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Gambar 4.8. *Kurva Produktivitas Maksimum Buldozer*
(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Contoh 4.2:
Hitung produktivitas traktor D7G beroda *crawler* dengan *U-blade* yang mengangkut pasir dan kerikil kering dengan berat 2900 lb/cy pada jarak tempuh 90 m menurun 10%. Asumsikan operator adalah rata-rata dengan efisiensi kerja 50 menit/jam.

Jawab:

Faktor koreksi:
- Operator rata-rata = 0,75
- Efisiensi kerja (50/60) = 0,83
- Material kering = 0,80
- Koreksi berat (2300/2900) = 0,79
- Koreksi slope= 1,20

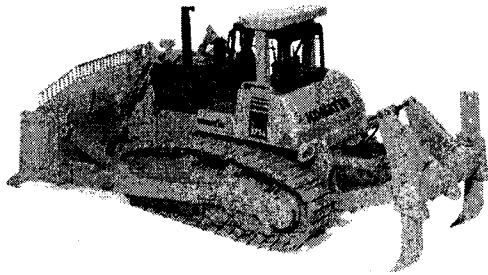
Dari kurva didapat maksimum produktivitas dozer adalah 200 lcm/jam

Produktivitas:
Prod = 200 x 0,75 x 0,83 x 0,80 x 0,79 x 1,20 = 94,42 lcm/jam

6. RIPPER

Ripper adalah alat yang menyerupai cakar (*shank*) yang dipasangkan di belakang traktor. Fungsi dari alat ini adalah untuk menggemburkan tanah keras. Pekerjaan penggemburan ini memerlukan penetrasi *ripper* ke dalam tanah dan traktor berkemampuan besar. Jumlah cakar *ripper* antara satu sampai lima buah. Bentuk dari *shank* ada 2 macam, lurus dan lengkung. *Shank* lurus dipakai untuk material yang padat dan batuan berlapis. Sedangkan *shank* yang lengkung dipakai untuk batuan yang retak.

Gerakan pada *ripper* ada dua tipe yaitu tipe lengkung (*arc*) dan paralel. Tipe arc merupakan gerakan yang sederhana, namun kadang roda belakang traktor terangkat sehingga kemampuan tahan kurang. Pada tipe paralel gigi masuk dari arah atas sehingga menambah traksi alat. Tipe ini baik digunakan pada material keras.

Gambar 4.9. *Ripper*
(Sumber: *http://www.firstgearreplicas.com/storeImages/Thumbnails*)

Perhitungan produktivitas *ripper* sangat sulit untuk diperkirakan. Salah satu faktornya adalah pekerjaan dengan penggunaan *ripper* bukanlah pekerjaan yang dilakukan terus-menerus. Biasanya pekerjaan ini dilakukan bersama-sama dengan pemuatan material, sehingga kadang kala di lapangan kita dapat melihat bahwa sebuah traktor dipasangkan *blade* dan ripper pada waktu bersamaan.

Perhitungan produktivitas *ripper* dapat dilakukan dengan beberapa cara. Cara pertama adalah dengan mengukur potongan topografi di lapangan dan waktu yang dibutuhkan untuk menggemburkan tanah. Cara ini memberikan hasil yang akurat. Cara lain adalah dengan mengasumsikan kecepatan rata-rata ripper yang bekerja pada suatu area. Dengan diketahuinya jarak yang ditempuh pada setiap *pass* maka waktu berangkat dapat dicari. Total waktu siklus merupakan penambahan waktu berangkat dengan waktu yang dibutuhkan ripper untuk mengangkat atau menurunkan cakarnya.

7. PEMBERSIHAN LAHAN

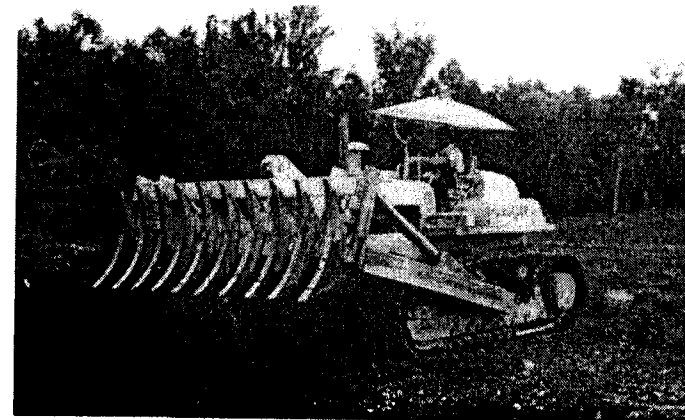
Sebelum pembangunan proyek konstruksi pada suatu lahan kosong, lahan tersebut harus dibersihkan dari semak atau pepohonan. Kegiatan ini meliputi pekerjaan pemindahan semak, pohon dan sampah. Artinya, semua yang berada di atas dan di bawah permukaan tanah yang dapat mengganggu proyek harus dipindahkan.

Cara kerja dozer untuk pembersihan lahan sangat tergantung pada kondisi lapangan. Pekerjaan pembersihan lahan bersemak dengan beberapa pohon kecil akan berbeda penanganannya dengan lahan yang dipenuhi pohon sedang maupun besar. Cara kerja yang berbeda ini juga akan mempengaruhi produktivitas alat.

Untuk pekerjaan pembersihan semak dan pohon kecil alat bergerak dengan kecepatan rendah. Pada *pass* pertama dozer maju dengan pisau pada posisi di bawah tanah. Artinya, pisau melakukan penetrasi ke dalam tanah. Tujuan dari gerakan ini adalah untuk menjatuhkan pohon dan semak sampai ke akarnya. Jika pada *pass* pertama ini lahan belum bersih dari akar pohon maka dilakukan *pass* kedua. *Pass* kedua ini dilaksanakan dengan tujuan untuk membersihkan lahan.

Untuk pembersihan pohon sedang yang berdiameter antara 10 sampai 25 cm dozer melakukan tiga *pass*. Pada *pass* pertama dozer maju ke arah pohon dengan pisau diangkat setinggi mungkin. Fungsi dari *pass* ini adalah untuk menjatuhkan pohon dengan mendorongnya. Setelah gerakan mendorong dan terlihat bahwa pohon mulai tumbang, alat mundur untuk menghindari naiknya akar pohon yang akan menyebabkan dozer ikut terangkat. Kemudian dilakukan *pass* kedua di mana pisau diturunkan dan melakukan penetrasi ke dalam tanah untuk membersihkan akar. Setelah itu *pass* terakhir dilakukan untuk mendorong pohon.

Jika pada lahan terdapat pohon dengan diameter lebih dari 25 cm maka pembersihan dilakukan lebih lama. Hal ini karena penanganan pohon besar harus dilakukan satu per satu. Sebelum mulai mendorong pohon, arah jatuhnya pohon perlu diperhatikan. Jika memungkinkan, tekniknya dapat dilakukan seperti pada pohon sedang. Namun jika mengalami kesulitan maka perlu dilakukan pengupasan tanah di sekitar pohon agar akar pohon berada di atas permukaan tanah.

Alat yang umum digunakan untuk pekerjaan pembersihan lahan adalah crawler traktor yang dilengkapi buldozer blade atau blade khusus untuk membersihkan lahan seperti *clearing blade* atau *rake*. Ada dua macam *clearing blade* yang dipakai yaitu *single-angle blade (K/G blade)* dan *V blade*.

Gambar 4.10. *Dozer dengan Rake Blade*
(Sumber: *http://www.rocklandmfg.com/Images/special_photos*)

Perhitungan produktivitas pembersihan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Prod} = \frac{\text{Lebar cut x kec x effisiensi}}{10} \quad (4.5)$$

Produktivitas dihitung dalam satuan ha/jam. Pada rumus di atas lebar potong atau lebar cut dalam satuan meter sedangkan kecepatan alat dihitung dalam satuan km/jam.

Sedangkan produktivitas pemotongan kayu atau pepohonan (dalam satuan menit/acre) dihitung dengan rumus:

$$\text{Prod} = H[A \times B + M_1 \times N_1 + M_2 \times N_2 + M_3 \times N_3 + M_4 \times N_4 + D \times F] \quad (4.6)$$

H adalah faktor kekerasan kayu (Tabel 4.4) dan *A* adalah kepadatan pohon (Tabel 4.5). Pada Tabel 4.6, *B* adalah base time, *M* (menit) adalah waktu pemotongan, tergantung pada duameter pohon, *N* adalah banyak pohon per acre dengan diameter tertentu, *D* (ft) adalah jumlah diameter pohon pada ukuran lebih dari 6 ft, *F* (menit/ft) adalah waktu pemotongan pohon dengan diameter lebih dari 2 meter atau 6 ft.

Tabel 4.4. Faktor Kekerasan Kayu

Kekerasan kayu (%)	H
75-100 % kayu keras	1,3
25-75 % kayu keras	1,0
0-25 % kayu keras	0,7

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Tabel 4.5. Kepadatan Pohon

Kepadatan Pohon	A
Kepadatan pepohonan lebih dari 600 pohon per are atau pohon yang ada adalah pohon besar	2,0
Kepadatan pepohonan antara 400 sampai 600 pohon per are	1,0
Kepadatan pepohonan kurang dari 400 pohon per are	0,7

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Jika pembongkaran dan pemindahan akar juga dilakukan dalam satu operasi maka nilai produktivitas di atas ditambahkan 25%. Sedangkan pemindahan akar dilakukan secara terpisah maka produktivitas ditambahkan 50%.

Tabel 4.6. Faktor Produksi

Traktor(hp)	B	Diameter				
		1-2 ft M_1	2-3 ft M_2	3-4 ft M_3	4-6 ft M_4	> 6 ft F
165	34,41	0,7	3,4	6,8	-	-
215	23,48	0,5	1,7	3,6	10,2	3,3
335	18,22	0,2	1,3	2,2	6,0	1,8
460	15,79	0,1	0,4	1,3	3,0	1,0

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Contoh 4.3:

165-hp traktor dengan K/G blade digunakan untuk pemotongan pohon. Kayu keras rata-rata 25 %. Survei pepohonan memberikan hasil:
rata-rata jumlah pohon per are 650 batang
diameter 1-2 ft: 100 pohon
diameter 2-3 ft: 10 pohon
diameter 3-4 ft: 2 pohon
diameter 4-6 ft: -
jumlah diameter pohon pada ukuran lebih dari 6 ft: -

Jawab:

Dari data maka didapat:
H = 0,7 (tabel 4.4)
A = 2,0
B = 34,41; M1 = 0,7; M2 = 3,4; M3 = 6,8 (tabel 4.5)
D = 0

Prod = 0,7(2 x 34,41 + 0,7 x100 + 3,4 x 10 + 6,8 x 2)
= 130,49 menit/acre

BAB V
SCRAPER DAN MOTOR GRADER

1. PENDAHULUAN

Scraper adalah alat berat yang berfungsi untuk mengeruk, mengangkut, dan menabur tanah hasil pengerukan secara berlapis. *Scraper* dapat digunakan sebagai alat pengangkutan untuk jarak yang relatif jauh (± 2000 m) pada tanah datar dengan alat penggerak roda ban. Pemilihan *scraper* untuk pekerjaan ini tergantung pada:

1. Karakteristik material yang dioperasikan,
2. Panjang jarak tempuh,
3. Kondisi jalan,
4. Alat bantu yang diperlukan.

Motor grader merupakan alat perata yang mempunyai bermacam-macam kegunaan. Pada umumnya grader digunakan dalam proyek dan perawatan jalan dan dengan kemampuannya dalam bergerak, motor grader sering digunakan dalam proyek lapangan terbang.

2. SCRAPER

Scraper umumnya digolongkan berdasarkan tipenya, *scraper* yang ditarik (*towed scraper*), *scraper* bermotor (*motorized scraper*) dan *scraper* yang mengisi sendiri (*self loading scraper*). *Towed scraper* umumnya ditarik *crawler* traktor dengan kekuatan mesin 300 hp atau lebih. *Scraper* jenis ini dapat menampung material sebanyak 8 – 30 m³.

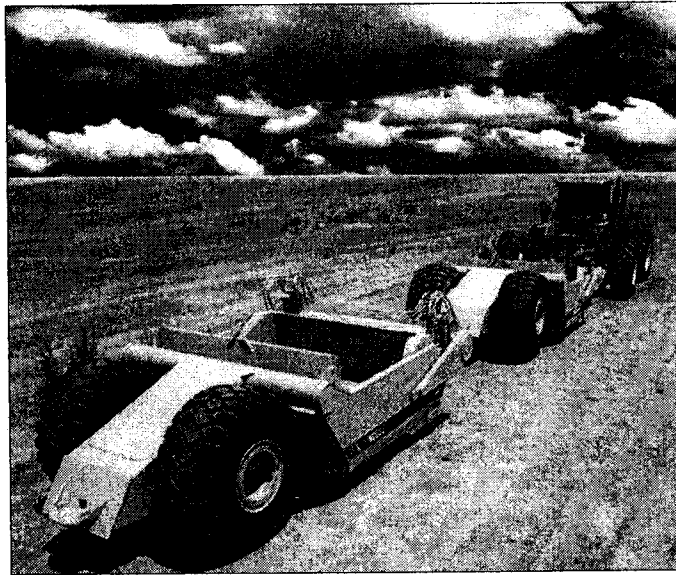
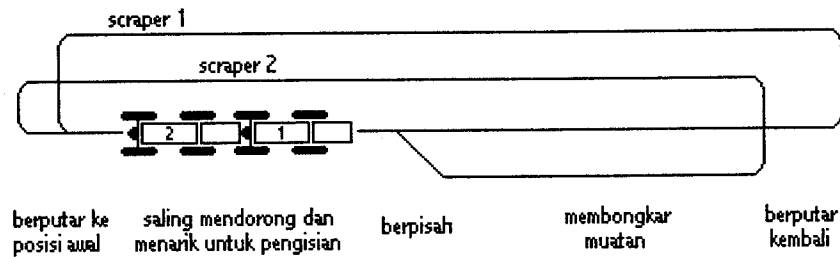
Towed scraper dalam pelaksanaannya dibantu alat lain seperti dozer. Alat ini bekerja dengan kecepatan gerak lamban, namun kelebihan dari alat ini adalah:

1. Mengangkut "*heavy load,*"
2. **Berputar pada radius kecil,**
3. **Menyebarkan material secara merata tanpa memerlukan alat lain,**
4. **Ekonomis pada pekerjaan pembukaan lahan.**

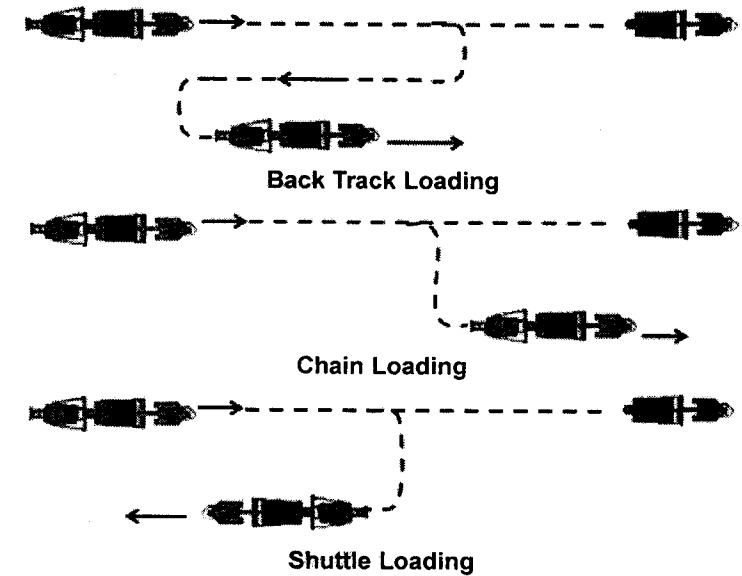
Gambar 5.1. *Motorized Scraper*
(Sumber: *http://www.cs.utah.edu/~hatch/scrapers.html*)

Daya tampung *motorized scraper* adalah sebanyak 15 – 30 m³. *Motorized scraper* mempunyai kekuatan 500 hp atau lebih dengan kecepatan mencapai 60 km/jam karena menggunakan alat penggerak ban. Akan tetapi daya cengkram ban terhadap tanah kurang sehingga scraper tipe ini dalam operasinya memerlukan bantuan *crawler* traktor yang dilengkapi pisau atau *scraper* lain. Pengoperasian dengan alat bantu ini dilakukan dengan dua cara:

1. *Push-loaded*. Alat bantu dipakai hanya pada saat pengerukan dan pengisian. Pada saat bak penampung telah penuh, *scraper* dapat bekerja sendiri. Dengan demikian alat bantu dapat membantu beberapa *scraper*. Dengan adanya alat bantu, jarak tempuh *scraper* dapat mencapai 3 km. Ukuran dozer yang dipakai tergantung dari daya muat *scraper*.
2. *Push-pull*. Dua buah *scraper* dioperasikan dengan cara ini di mana keduanya saling membantu dalam pengerukan. *Scraper* yang di belakang mendorong *scraper* di depannya pada saat pengerukan dan *scraper* di depannya menarik *scraper* yang di belakang pada saat pengerukan.

Seperti disebutkan di atas, *scraper* dipakai untuk pengerukan top soil. Top soil yang dipindahkan berkisar pada kedalaman 10 cm sampai 30 cm. Jika lahan yang akan diangkat top soilnya mempunyai luas sedang maka *self-loading scraper* yang kecil atau crawler traktor dengan *scraper bowl* dapat dipilih. Untuk lahan yang luas *push-loaded scraper* dengan kecepatan tinggi menjadi pilihan.

Gambar 5.2. *Towed Scraper*
(Sumber: *http://www.hartstractor.com/noble*)

Gambar 5.3. *Metode Push Pull*

Karena kedua tipe scraper di atas tidak dapat memuat sendiri hasil pengerukannya, maka scraper tertentu dilengkapi semacam *conveyor* untuk memuat tanah. Scraper seperti ini dinamakan *self loading scraper.* Dengan adanya tambahan alat ini maka berat alat bertambah sekitar 10–15%.

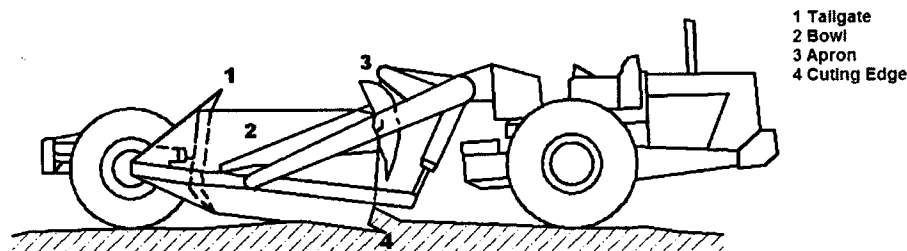
Scraper juga dapat digunakan untuk meratakan tanah di sekitar bangunan. Pekerjaan ini dilakukan dalam jarak tempuh yang pendek. Jika jarak tempuh kurang dari 100 m biaya penggunaan alat ini sebaiknya dibandingkan dengan biaya penggunaan dozer atau *grador.*

Gambar 5.4. *Metode Push Loaded*

Gambar 5.5. *Self Loading Scraper*
(Sumber: *http://www.cs.utah.edu/~hatch/scrapers.html*)

2.1. Pengoperasian Scraper

2.1.1. Bagian Scraper

Scraper terdiri dari beberapa bagian dengan masing-masing fungsinya. Bagian-bagian tersebut adalah *bowl*, *apron*, dan *tail gate*. Bowl adalah

bak penampung muatan yang terletak di antara ban belakang. *Bowl* mempunyai sisi yang kaku dengan bagian depan dan belakang yang dapat digerakkan *(ejector* dan *apron)*. Bagian depan *bowl* dapat digerakkan ke bawah untuk operasi pengerukan dan pembongkaran muatan. Pada bagian sisi depan *bowl* yang bergerak ke bawah terdapat *cutting edge*. Kapasitas penuh *bowl* berkisar antara 3 sampai 38 m³.

Gambar 5.6. *Bagian Scraper*

Apron adalah dinding lengkung *bowl* di bagian depan yang dapat diangkat pada saat pengerukan dan pembongkaran. Pengangkatan *apron* dilakukan secara hidrolis. *Apron* dapat menutup kembali pada saat pengangkutan material. Fungsi dari apron adalah mengatur aliran material masuk dan keluar bowl. Dalam keadaan tertutup, apron berada di atas *cutting edge*. Beberapa model *scraper* memiliki *apron* yang dapat mengangkut material sepertiga dari material di *bowl.*

Tail gate atau *ejector* merupakan dinding belakang *bowl.* Pada saat pemuatan dan pengangkutan material dinding ini tidak bergerak, namun pada saat pembongkaran muatan *ejector* bergerak maju untuk mendorong material keluar dari bowl. Alat ini pun digerakkan secara hidrolis.

Cutting edge adalah pisau dari baja yang terdapat di bagian depan dasar bowl. Fungsi dari pisau ini adalah untuk melakukan penetrasi ke dalam tanah. Karena fungsinya maka *cutting edge* dapat mengalami kerusakan jika mengenai benda keras dalam tanah. *Cutting edge* yang rusak sebaiknya diganti agar tidak merusak bowl.

2.1.2. Teknik Pengoperasian Scraper

Pada saat pemuatan material, ejector berada di belakang, dan bowl diturunkan sampai *cutting edge* mengenai tanah. *Apron* juga dibuka lebar. Alat kemudian bergerak maju secara perlahan. Pada saat alat bergerak maju, tanah masuk ke dalam bowl. Kedalaman penetrasi tergantung pada sejauh mana bowl diturunkan. Ketika pekerjaan pemuatan hampir selesai bowl dinaikkan perlahan dan apron juga diturunkan untuk menahan material tidak keluar dari bowl.

Pengangkutan material dilakukan pada kecepatan tinggi. Baik bowl, apron maupun ejector tidak melakukan gerakan. Bowl harus tetap pada posisi di atas agar *cutting edge* tidak mengenai tanah yang menyebabkan kerusakan pada *cutting edge* dan permukaan tanah terganggu.

Pembongkaran muatan dilakukan dengan menaikkan apron dan menurunkan bowl sampai material dalam bowl keluar dengan ketebalan tertentu. Kemudian apron diangkat setingginya dan ejector bergerak maju untuk mendorong sisa material yang ada dalam bowl. Pada saat pembongkaran selesai apron diturunkan, bowl dinaikkan dan ejector ditarik kembali pada posisi semula.

2.2. Produktivitas Scraper

Produktivitas scraper tergantung pada jenis material, tenaga untuk mengangkut, kondisi jalan, kecepatan alat, atau efisiensi alat. Pertama-tama banyaknya material yang akan dipindahkan dan jumlah pengangkutan dalam satu jam ditentukan. Volume material yang akan dipindahkan akan mempengaruhi kapasitas scraper yang dipilih. Sedangkan jumlah pengangkutan per jam tergantung pada waktu siklus *scraper.*

Waktu siklus scraper merupakan penjumlahan dari waktu muat (LT), waktu pengangkutan (HT), waktu pembongkaran muatan (DT), waktu kembali (RT), dan waktu antre (ST). Selain itu ada tambahan waktu berputar atau *turning time* (TT) dan waktu percepatan, perlambatan dan pengereman atau *accelerating, decelerating and braking time* (ADBT). Kerena LT, DT, ST, TT dan ADBT konsisten maka waktu-waktu tersebut dikategorikan sebagai waktu tetap (FT) (lihat Tabel 5.1) sehingga rumus yang dipakai adalah:

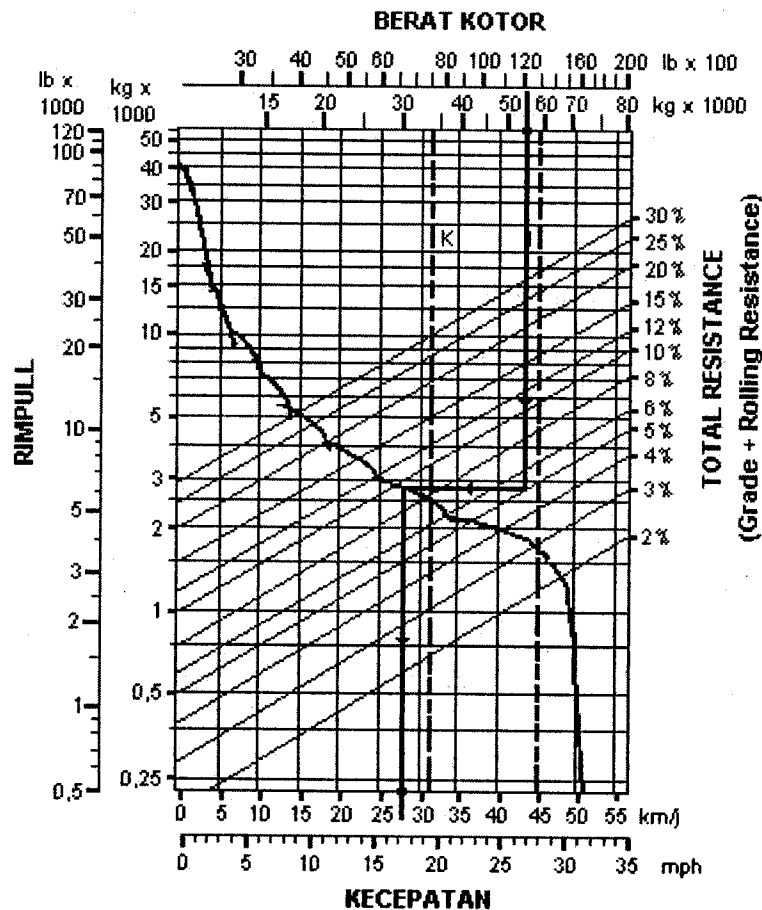
$$FT = LT + DT + ST + TT + ADBT \qquad (5.1)$$

Waktu pengangkutan dan waktu kembali tergantung pada grafik yang dikeluarkan oleh perusahaan alat berat untuk setiap model alat berat (lihat Lampiran). Penggunaan grafik tersebut adalah sebagai berikut:

1. Hitung RR dan GR permukaan jalan dan jumlahkan (TR).
2. Hitung berat alat ditambah berat material dalam bowl. Jumlah berat yang ada tidak boleh melampaui berat maksimum yang dianjurkan.
3. Untuk permukaan jalan yang datar dan menanjak atau TR > 0 gunakan Grafik *Rimpull-speed-gradeability* sedangkan untuk jalan yang menurun dan TR < 0 gunakan Grafik *Continuous grade retarding.*

4. Tarik garis vertikal dari atas yang sesuai dengan berat alat dan material.
5. Tarik garis TR hasil penjumlahan no.1 sesuai dengan TR yang ada sampai bertemu dengan garis vertikal no. 4.
6. Dari titik pertemuan kedua garis tarik garis horisontal kearah garis kurva.
7. Dari pertemuan kurva dengan garis tarik garis vertikal ke bawah sampai ke skala kecepatan.
8. Dari kecepatan dan jarak tempuh akan didapat waktu pengangkutan.

Sedangkan waktu siklus (CT) adalah penjumlahan waktu tetap, waktu angkut dan waktu kembali. Waktu angkut dan waktu kembali dihitung tersendiri karena selalu berubah tergantung pada kondisi jalan dan jarak tempuh. Perhitungan CT menggunakan rumus:

$$CT = HT + RT + FT \qquad (5.2)$$

Gambar 5.7. *Contoh Pemakaian Grafik Rimpull-speed-gradeability*

Rumus yang digunakan untuk menetukan produktivitas scraper adalah:

$$\text{Prod} = \frac{V \times 60 \times eff}{CT_s} \qquad (5.3)$$

Tabel 5.1. Nilai FT (menit)

Kegiatan	Kecepatan Pengangkutan Rata-rata								
	8 – 12,5 km/j			12,5 - 24 km/j			24 - 48 km/j		
	1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
Pemuatan	0,8	1,0	1,4	0,8	1,0	1,4	0,8	1,0	1,4
Pembongkaran & Memutar	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
Percepatan & Perlambatan	0,3	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0
Total	1,5	1,9	2,6	1,8	2,3	3,0	2,2	3,0	4,0

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1985)
*1 = kondisi baik
*2 = kondisi sedang
*3 = kondisi buruk

2.3. Pusher (Alat Pendorong)

Pemakaian alat bantu atau *pusher* pada *scraper* dalam operasinya dapat menaikkan produktivitas alat. Umumnya sebuah pusher dapat membantu beberapa scraper dalam melakukan pekerjaannya. Waktu siklus pusher adalah waktu yang dibutuhkan untuk memuat material kedalam scraper ditambah waktu yang dibutuhkan pusher untuk bergerak dari satu scraper ke scraper yang lain. Waktu siklus (dalam menit) ini dicari dengan menggunakan rumus:

$$CT_p = 140\% \times LT_s + 0{,}25 \qquad (5.4)$$

Jumlah scraper yang dapat dibantu oleh sebuah pusher adalah:

$$N = \frac{CT_s}{CT_p} \qquad (5.5)$$

Sedangkan metode yang dipakai pusher dalam mendorong scraper dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Contoh 5.1:
Tanah sebanyak 300.000 lcm dipindahkan dengan menggunakan scraper 621E. Spesifikasi tanah dan alat adalah sebagai berikut:
Berat jenis tanah = 1340 kg/lcm
Job efficiency = 50/60

Heaped capacity = 15,30 m
Berat kosong = 30.479 kg
Berat maksimum = 52.249 kg
Kondisi permukaan sedang
Untuk loading digunakan pusher

Pertanyaan:

1. Berapa siklus waktu scraper?
2. Berapa produktivitas scraper?
3. Berapa siklus waktu pusher?
4. Berapa jumlah scraper yang diperlukan?

Jawab:

Menentukan waktu berangkat:

Berat scraper = berat kosong + (kapasitas scraper x bj tanah)
= 30.479 + (15,3 x 1340)
= 50.981 kg < berat maksimum (52.249 kg)

Dari	RR	GR	TR	L (km)	V (km/jam)	t (menit)
A – B	6	0	6	1	23	2,6
B - C	4	8	12	0,5	12	3,8
					t2 =	6,4

Menentukan waktu kembali:

Berat scraper = 30.479 kg

Dari	RR	GR	TR	L (km)	V (km/jam)	t (menit)
C – B	4	-8	-4	0,5	55	0,5
B - A	6	0	6	1	39	1,5
					t4 =	2,0

Kecepatan pengangkutan rata-rata: 17,5 km/jam.

Berdasarkan Tabel 5.1 maka waktu tetap adalah 2,3 menit

Waktu siklus = FT + HT+ RT
= 2,3 + 6,4 + 2 ,0
= 10,7 menit

Produktivitas scraper = kapasitas x 60 / waktu siklus x job efficiency
= 15,30 x 60 / 10,7 x 50/60
= 71,50 lcm/jam

Berdasarkan Tabel 5.1, waktu pemuatan (*loading time*) adalah 1,0 menit, maka:

Waktu siklus pusher = 140% loading time + 0,25
= 1,4 x 1,0 + 0,25
= 1,65 menit

Jumlah scraper = waktu siklus scraper / waktu siklus pusher
= 9,6 /1,65
= 7 scraper

2.4. Peningkatan Produktivitas Scraper

Agar produktivitas scraper dapat ditingkatkan maka dalam siklus kerjanya perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. *Pemuatan:* sebaiknya dilakukan pada area menurun dan pelaksanaannya secepat mungkin. Sebelum pemuatan, bersihkan area pemuatan dari akar, semak, dan lain-lain.
2. *Pemindahan:* sebelum pekerjaan pengolahan lahan dilaksanakan maka tentukan terlebih dahulu rute pemindahan untuk membuat jarak seminimal mungkin. Sebaiknya scraper berputar pada radius sekecil mungkin. Agar scraper bekerja dengan lebih baik maka usahakan untuk membasahi rute.
3. *Penyebaran:* pekerjaan penyebaran material dimulai dari awal area. Selain itu juga perlu dibuat penumpukan pada samping lebih tinggi daripada di tengah.

Secara umum beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi scraper dalam operasinya antara lain:

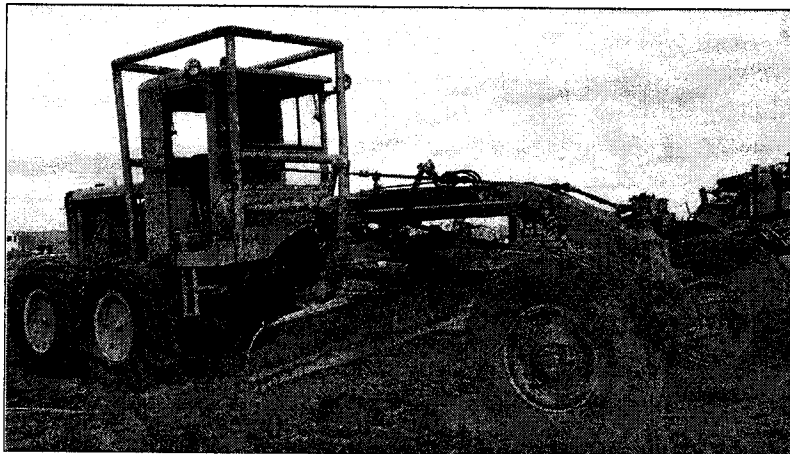
1. Pertama dengan menggemburkan tanah yang akan dimuat ke dalam bowl. Dengan demikian, waktu muat akan berkurang. Kedalaman penetrasi dari ripper harus lebih besar dari kedalaman penetrasi *cutting edge*.
2. Cara kedua adalah dengan membasahi tanah yang akan diangkut. Ada beberapa jenis tanah yang dapat dimuat dengan lebih mudah bila dalam kondisi basah. Pembasahan tanah ini dilakukan sebelum tanah dimuat ke dalam bowl.
3. Pengaturan pergerakan scraper seperti menghindari terlalu banyak gerakan memutar dan jika memungkinkan, jalan gerak antarscraper berbeda.

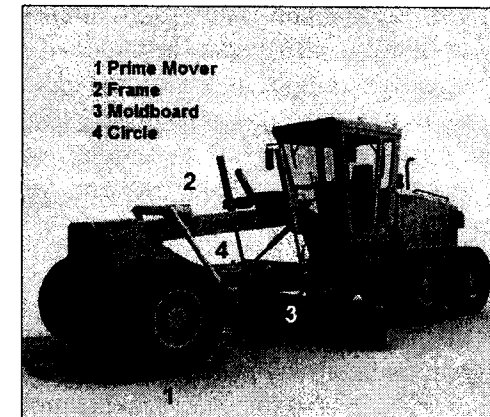
3. MOTOR GRADER

Motor grader mempunyai fungsi bermacam-macam, antara lain:

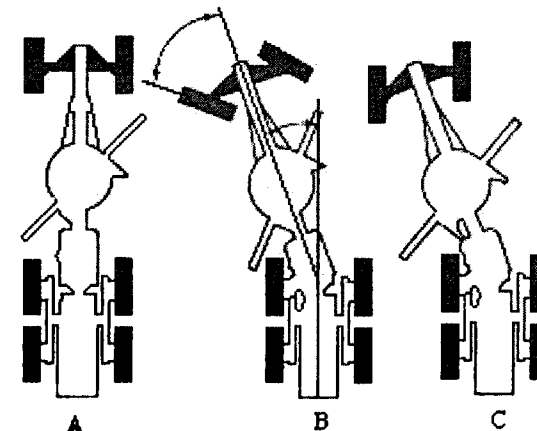
1. Meratakan dan membentuk permukaan,
2. Merawat jalan,
3. Mengupas tanah,
4. Menyebarkan material ringan.

3.1. Bagian Motor Grader

Motor *grader* terdiri dari enam bagian utama, yaitu penggerak (*prime mover*), kerangka (*frame*), pisau (*moldboard*), *sacrifier*, *circle* dan *drawbar* (lihat Gambar 5.9). Alat penggerak motor grader adalah roda ban yang terletak di belakang. Frame menghubungkan penggerak dan as depan. Letak frame cukup tinggi untuk memudahkan manuver alat. Dalam pengoperasiannya, motor grader menggunakan pisau yang disebut *moldboard* yang dapat digerakkan sesuai dengan kebutuhan bentuk permukaan. Panjang blade biasanya berkisar antara 3 sampai 5 meter.

Gambar 5.8. *Motor Grader*
(Sumber: *http://www.turbosquid.com/FullPreview*)

Sacrifier adalah unit motor grader yang dikontrol secara hidrolis. Bagian ini mempunyai gigi yang berfungsi untuk menghancurkan material. Sacrifier digerakkan dengan mendorong atau menarik unit ini. *Circle* adalah bagian motor grader yang berbentuk seperti cincin dengan bagian dalam/luar bergigi. Fungsi dari circle adalah untuk menggerakkan blade agar dapat berputar. *Drawbar* bagian motor grader yang berbentuk V atau T. Drawbar menghubungkan circle dengan bagian depan grader.

Gambar 5.9. *Bagian Motor Grader*
(Sumber: *http://www.turbosquid.com/FullPreview*)

Moldboard/pisau dapat digerakkan seperti blade pada dozer, yaitu *tilt*, *pitch*, dan *angle* dengan fleksibilitas yang lebih besar. Gerakan *pitching* ke depan biasanya untuk pekerjaan finishing dan pencampuran. Sedangkan gerakan *pitching* ke belakang dilakukan untuk meningkatkan pemotongan.

Selain itu, bagian depan motor grader dapat bergerak fleksibel sesuai dengan kebutuhan pekerjaan. Gerakan-gerakan bagian depan motor grader berupa *straight mode* (Gambar 5.10-A), *articulated mode* (Gambar 5.10-B), dan *crab mode* (Gambar 5.10-C). *Straight mode* atau gerak lurus memungkinkan grader untuk melakukan pekerjaan normal. Untuk meratakan permukaan secara horisontal maka pisau diletakkan di

Gambar 5.10. *Gerakan Bagian Depan Motor Grader*
(Sumber *Construction Methods and Management*, 1998)

tengah, kanan atau kiri. Sedangkan untuk meratakan permukaan pada suatu kemiringan maka roda ada pada permukaan datar dan pisau diletakkan pada permukaan miring. *Articulated mode* memungkinkan bagian depan grader untuk berputar pada radius kecil. *Crab mode* memudahkan bagian depan grader untuk melakukan pemotongan slope kanal atau saluran irigasi dengan bagian belakang tetap berada pada permukaan datar.

3.2. Produktivitas Motor Grader

Produktivitas grader dihitung berdasarkan jarak tempuh alat per jam pada proyek jalan, sedangkan pada proyek-proyek lainnya, perhitungan produktivitas motor grader adalah luas area per jam. Waktu (jam) yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan jalan dihitung berdasarkan rumus:

$$T = \left[\sum \frac{N \times L_{ruas}}{V_{rata-rata}} \right] \times \frac{1}{efisiensi} \qquad (5.6)$$

N (*passes*) adalah berapa kali motor grader harus melakukan gerakan bolak balik pada suatu tempat sebelum hasil yang diinginkan tercapai. Jumlah N tergantung pada kondisi permukaan, kemampuan operator alat, dan bentuk permukaan seperti apa yang diinginkan. Sedangkan L_{ruas} (km) adalah panjang ruas yang ditempuh oleh motor grader untuk melakukan 1 pass dan $V_{rata-rata}$ (km/jam) adalah kecepatan rata-rata motor grader sepanjang 1 ruas. Rumus yang dipakai untuk menghitung produktivitas adalah:

$$\text{Prod} = 1000vWE \qquad (5.7)$$

Pada rumus di atas, produktivitas dihitung dalam satuan m²/jam, *V* dalam km/jam dan *W* yang merupakan lebar efektif per pass dihitung dalam meter. *E* adalah efisiensi kerja.

Tabel 5.2. Rata-rata Kecepatan Motor Grader (km/jam)

Pekerjaan	Kecepatan
Membuat slope	4,0
Menggali saluran	4,0 – 6,4
Perataan akhir	6,5 – 14,5
Perawatan jalan	6,4 – 9,7
Pencampuran	14,5 – 32,2
Penebaran material	9,7 – 14,5

(Sumber: *Construction Methods and Management*, 1998)

Contoh 5.2:

Jalan tanah sepanjang 15 km memerlukan perataan dan pembentukan permukaannya kembali. Diperkirakan motor grader yang digunakan untuk pekerjaan tersebut harus melakukan pass sebanyak 6 kali. Karena kondisi jalan maka dua pass pertama dikerjakan dengan kecepatan 6 km/jam dan semakin cepat 1 km/jam untuk dua pass kedua dan ketiga.

Berapa lama pekerjaan tersebut dapat diselesaikan jika efisiensi adalah 45 menit/jam?

Jawab:

$$T = \left(\frac{2 \times 15}{6} + \frac{2 \times 15}{7} + \frac{2 \times 15}{8} \right) \times \frac{1}{45/60} = 17{,}38\text{jam}$$

Contoh 5.3:

Berapakah produktivitas motor grader jika digunakan untuk membentuk jalan dengan kecepatan 6 km/jam dan lebar efektif per pass 3 m? Anggap efisiensi kerja adalah 0,8.

Jawab:

$$\text{Prod} = 1000 \times 6 \times 3 \times 0{,}8 = 14.400\text{m}^2/\text{jam}$$

BAB VI
LOADER DAN TRUK

1. PENDAHULUAN

Alat pengangkutan dalam proyek konstruksi dapat bergerak secara horisontal dan vertikal. Yang dimaksud dengan pergerakan horisontal adalah pengangkutan pada permukaan tanah. Sedangkan pergerakan vertikal adalah pengangkutan dari satu ketinggian ke ketinggian lain. Yang termasuk alat pengangkutan horisontal adalah *loader* dan truk. Pada dasarnya scraper juga dapat dimasukkan ke dalam kategori alat pengangkutan horisontal. Sedangkan alat pengangkutan vertikal adalah crane.

Loader adalah alat yang umum dipakai dalam proyek konstruksi untuk pekerjaan pemuatan material hasil penggalian ke dalam truk atau membuat timbunan material. Jarak tempuh loader biasanya tidak terlalu jauh. Pada bagian depan loader terdapat *bucket* sehingga alat ini umumnya disebut *front-end loader*.

Truk adalah alat pengangkutan yang sangat umum digunakan di dalam proyek konstruksi. Alat ini sangat efisien dalam penggunaannya karena kemampuan tempuhnya yang jauh dengan volume angkut yang besar. Fungsi dari truk adalah untuk mengangkut material seperti tanah, pasir, dan batuan pada proyek konstruksi. Pemuatan material ke dalam baknya diperlukan alat bantu lain seperti alat gali dan loader. Pemilihan jenis alat pengangkutan tergantung pada kondisi lapangan, volume material, waktu dan biaya.

2. LOADER

Alat penggerak *loader* dapat diklasifikasikan sebagai roda crawler atau ban. Loader beroda crawler atau *crawler-tractor-mounted* mempunyai roda yang mirip dengan dozer hanya dipasang lebih maju ke depan untuk menstabilkan alat pada saat mengangkut material. Loader beroda ban atau *wheel-tractor-mounted* terdiri atas *4-wheel-drive* dan *rear-wheel drive*. Rear-wheel-drive bisa dipakai untuk menggali dan 4-wheel-drive cocok untuk membawa bucket bermuatan penuh.

Loader baik yang beroda ban ataupun beroda crawler dapat dipakai untuk mengangkat material. Namun bagian bawah material harus mempunyai ketinggian setinggi permukaan di mana alat tersebut berada. Pengangkatan yang lebih dalam memerlukan ramp. Selain itu material yang diangkat haruslah material yang lepas. Karena di bagian bawah loader tidak terdapat alat pemutar maka pada saat pembongkaran muatannya loader harus melakukan banyak gerakan.

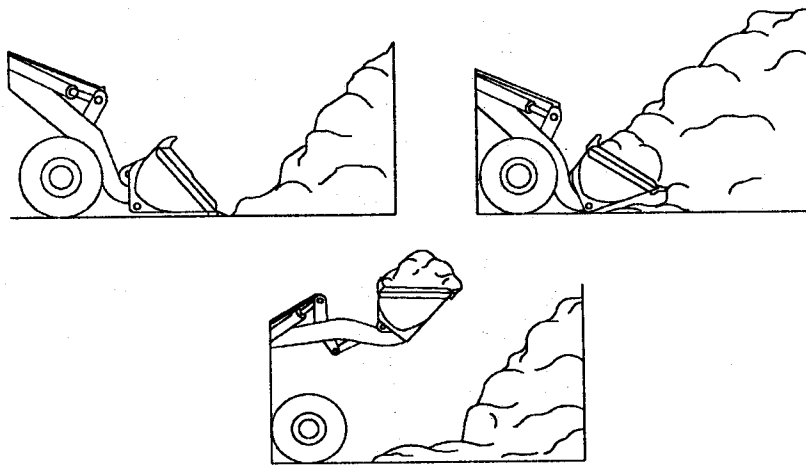
Gambar 6.1. *Wheel-tractor Loader*
(Sumber: *http://www.dankoconstruction.com/images*)

Loader diberi tambahan *attachment* seperti *bucket, forklift and backhoe* sehingga penambahan alat pada proyek konstruksi dapat dikurangi. Bucket yang dipasangkan pada loader dapat berupa *general purpose bucket* dan *multipurpose bucket*. Pada multipurpose bucket, bucket terdiri dari dua bagian yang dapat dibuka di bagian tengahnya seperti *clamshell*. Ukuran bucket berkisar antara 0,15 m^3 sampai 15 m^3. Ukuran yang paling sering digunakan adalah 6 m^3.

2.1. Teknik Pengoperasian

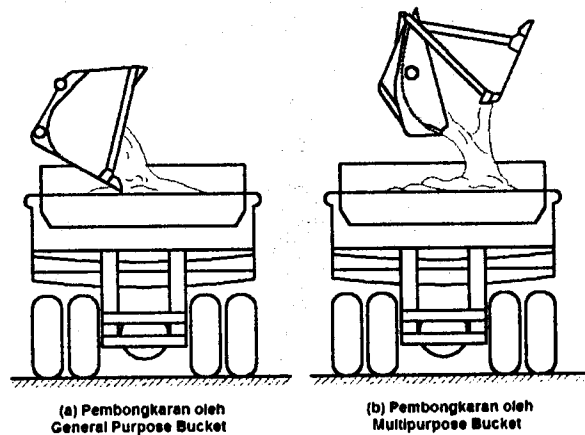
Dalam pengoperasian loader, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Hal yang berkaitan dengan pengisian bucket loader dan pembongkaran muatan loader penting untuk diketahui agar alat bekerja dengan lebih efisien dalam suatu kondisi tertentu.

2.1.1. Pemuatan Bucket Loader

Pengisian bucket oleh loader pertama-tama dilakukan dengan cara ujung bucket menyentuh permukaan tanah. Kemudian loader maju secara perlahan sampai material masuk dan bucket bergerak turun. Saat material masuk angkat bucket agar material tidak keluar.

Gambar 6.2. *Cara Pengisian Bucket*

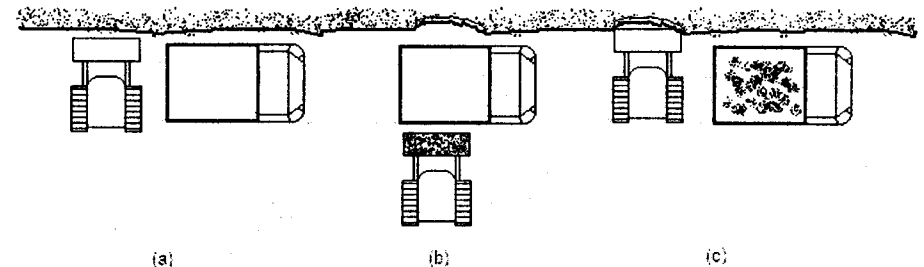
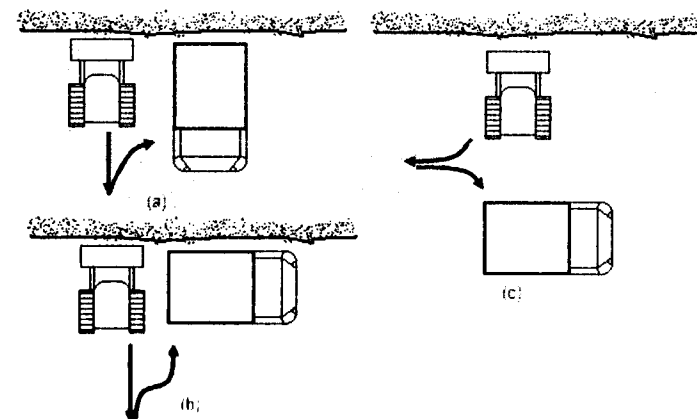
2.1.2. Pembongkaran Muatan Bucket Loader

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa loader digunakan untuk memuat material ke dalam truk. Teknik pemuatan material dari bucket ke dalam bak truk perlu memperhatikan hal-hal berikut:

1. Sambil bergerak maju, arm serta bucket diangkat,
2. Bila bucket telah berada di atas truk maka bucket diputar perlahan ke bawah,
3. Setelah kosong putar bucket ke atas dan mundur perlahan,
4. Sebaiknya pembongkaran dilakukan di sisi pengemudi truk.

Gambar 6.3. *Cara Pengisian Bak Truk oleh Loader*

Pada area yang datar truk dapat diletakkan di dekat loader sehingga gerakan loader akan lebih mudah. Terdapat tiga metode pemuatan material dari loader ke dalam truk, yaitu:

- *I shape loading*,
- *V shape loading*,
- *Pass loading.*

Pada metode *I shape loading*, truk bergerak maju pada saat loader mengambil material dari timbunan dan kemudian mundur pada saat loader telah siap memindahkan material ke dalam truk (Gambar 6.4). Pada metode kedua, truk tidak bergerak sampai bak terisi penuh dan loader melakukan gerakan V dari timbunan ke arah truk. Posisi truk terhadap timbunan dan loader dapat dilihat pada Gambar 6.5. Ada tiga posisi yang mempengaruhi gerakan loader. Pada pass loading, truk bergerak menuju beberapa loader yang bucketnya telah terisi penuh. Truk bergerak dari satu loader ke loader lainnya sampai bak truck terisi penuh.

Gambar 6.4. *Metode Pemuatan I-Shape*

Gambar 6.5. *Metode Pemuatan V-Shape*

Awalnya pemuatan material ke dalam alat pengangkut dilakukan oleh *power shovel* atau *front shovel*, namun karena kapasitas loader makin besar maka penggunaan loader menjadi lebih sering. Loader juga digunakan untuk memuat material hasil peledakan ke dalam alat pengangkut. Sedangkan di quarry, loader digunakan untuk mengangkut material ke dalam hopper yang selanjutnya diangkut ke *crusher plant*. Pada proses pembersihan lahan loader juga digunakan untuk memindahkan semak, akar pohon, dan lain-lain.

Kapasitas angkat loader dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. Berat mesin
   Berat mesin perlu diketahui agar berat material tidak melampaui berat alat yang dapat menyebabkan terjadinya jungkir.
2. Lokasi titik berat alat
   Titik berat yang tidak tinggi menghidari terjadinya jungkir.
3. Panjang radius antara pusat putaran alat dan *attachment*
   Daya angkat alat akan semakin kecil dengan semakin besarnya panjang radius.
4. Tenaga alat
   Semakin besar tenaga alat semakin besar kemampuan angkat alat.

2.2. Produktivitas Loader

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan produktivitas loader adalah sebagai berikut:

1. Kondisi material,
2. Tipe bucket dan kapasitasnya,
3. Area untuk pergerakan loader,
4. Waktu siklus loader,
5. Waktu efisien loader.

Karena beberapa material menyebabkan alat tidak dapat mengangkut material secara maksimal maka dibuat tabel untuk menentukan faktor pemuatan bucket.

Cara menghitung produktivitas adalah dengan menggunakan tabel-tabel waktu yang tergantung pada beberapa faktor. Waktu muat tergantung pada jenis material yang diangkut. Waktu berputar ditentukan sebesar 0,2 menit. Waktu bongkar ditentukan berdasarkan tempat atau ke mana material ditempatkan. Selain itu diperlukan koreksi terhadap waktu siklus.

Tabel 6.1. Faktor Pemuatan Bucket (Bucket fill factor, BFF)

Material	Faktor
Material seragam atau campuran	0,95-1,00
Batu kerikil	0,85-0,90
Batuan hasil peledakan (baik)	0,80-0,95
Batuan hasil peledakan (rata-rata)	0,75-0,90
Batuan hasil peledakan (buruk)	0,60-0,75
Batuan berlumpur	1,00-1,20
Lanau basah	1,00-1,10
Material berbeton	0,85-0,95

(Sumber: *Construction Equipment Guide*, 1991)

Tabel 6.2. Waktu Muat (menit)

Material	LT
Berbutir seragam	0,03 - 0,05
Berbutir campuran dan basah	0,03 - 0,06
Lanau basah	0,03 - 0,07
Tanah atau kerikil	0,04 - 0,20
Material berbeton	0,05 - 0,20

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

Tabel 6.3. Waktu Buang (menit)

Pemuatan	DT
Ditumpah di atas tanah	$\leq$ 0,10
Dimuat ke dalam truck	0,04 – 0,07

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

Untuk menghitung waktu angkut (LT) dan waktu kembali (RT) digunakan grafik yang berbeda untuk setiap jenis loader (lihat Lampiran).

Tabel 6.4. Faktor Penambahan dan Pengurangan untuk CT (menit)

Uraian	Faktor
Kondisi tanah:	
Berbutir campuran	+ 0,02
Diameter < 3 mm	+ 0,02
Diameter 3 – 20 mm	- 0,02
Diameter 20 – 150 mm	0
Diameter > 150 mm	+ 0,03
Kondisi tanah asli/lepas	+ 0,04

Tabel 6.4. Lanjutan

Timbunan:	
Timbunan dengan tinggi > 3m	0
Timbunan dengan tinggi < 3m	+ 0,01
Pembongkaran dari truck	+ 0,02
Lain-lain:	
Pengoperasian tetap	- 0,04
Pengoperasian tidak tetap	+ 0,04
Target sedikit	+ 0,04
Target beresiko	+ 0,05

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

Tabel 6.5. Kapasitas Bucket

Tipe loader	Heaped capacity m³ (yd³)	Struck capacity m³(yd³)
910 F	1,20 (1,60)	1,02 (1,33)
918 F	1,70 (2,25)	1,40 (1,80)
928 F	2,00 (2,60)	1,70 (2,25)
930 T	1,72 (2,25)	1,29 (1,69)

Rumus yang digunakan untuk menghitung produktivitas adalah:

$$\text{Prod} = \text{uk.bucket} \times \frac{60}{CT} \times BFF \times efisiensi \qquad (6.1)$$

Contoh 6.1:

Sebuah loader digunakan untuk memindahkan material dari timbunan setinggi ± 2,5 m ke dalam truk. Material merupakan material seragam dengan rata-rata diameter kurang dari 3 mm. Loader mempunyai kapasitas 1,20 lcm (loader 910F) dengan jarak tempuh rata-rata 50 meter. Waktu berputar adalah 1 menit dan efisiensi kerja alat adalah 50/60 menit per jam dengan pengoperasian tetap.

Jawab:

Dari Tabel 6.1, BFF adalah 1
Dari Tabel 6.2, LT = 0,05 menit
Dari Tabel 6.3, faktor koreksi untuk waktu siklus = 0,02 + 0,01 – 0,04 menit
Dari Tabel 6.4, DT = 0,05 menit
Dari grafik di lampiran, HT dan RT = 2 ´ 0,25 menit
CT = 0,05 + 0,02 + 0,01 – 0,04 + 0,05 + 0,5 = 0,59 menit

$$\text{Prod} = 1{,}2 \times \frac{60}{0{,}59} \times 1 \times \frac{50}{60} = 101{,}69\, lcm/Jam$$

3. TRUK

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa truk sangat efisien untuk pengangkutan jarak jauh. Kelebihan truk dibanding alat lain:

1. Kecepatan lebih tinggi,
2. Kapasitas besar,
3. Biaya operasional kecil,
4. Kebutuhannya dapat disesuaikan dengan kapasitas alat gali.

Namun, alat ini juga memiliki kekurangan dibanding alat lain karena truk memerlukan alat lain untuk pemuatan. Dalam pemilihan ukuran dan konfigurasi truk ada beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu material yang akan diangkut dan excavator atau loader pemuat.

Truk tidak hanya digunakan untuk pengangkutan tanah tetapi juga material-material lain. Untuk pengangkutan material tertentu, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Untuk batuan, dasar bak dialasi papan kayu agar tidak mudah rusak,
2. Untuk aspal, bak dilapisi oleh solar agar aspal tidak menempel pada permukaan bak. Agar aspal tidak cepat dingin tutup bagian atas dengan terpal,
3. Untuk material lengket seperti lempung basah, pilih bak bersudut bulat.

Dalam pengisian baknya, truk memerlukan alat lain seperti excavator dan loader. Karena truk sangat tergantung pada alat lain, untuk pengisian material tanah perlu memperhatikan hal-hal berikut:

1. Excavator merupakan penentu utama jumlah truk, sehingga tentukan jumlah truk agar excavator tidak *idle*,
2. Jumlah truk yang menunggu jangan sampai lebih dari 2 unit.
3. Isi truk sampai kapasitas maksimumnya,
4. Untuk mengangkutan material beragam, material paling berat diletakkan di bagian belakang (menghindari terjadinya kerusakan pada kendali hidrolis),
5. Ganjal ban saat pengisian.

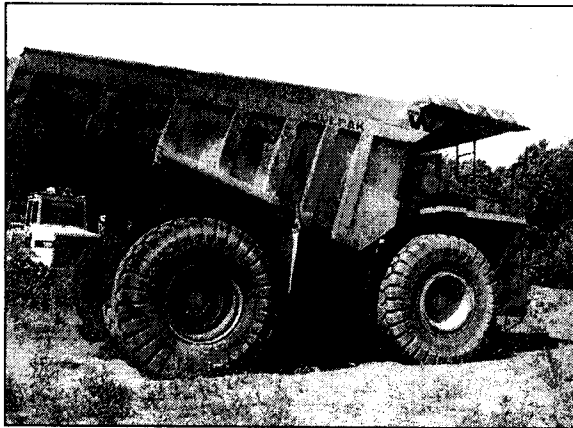
3.1. Klasifikasi Truk

Truk diklasifikasikan berdasarkan faktor berikut:

1. Ukuran, tipe mesin dan bahan bakar,
2. Jumlah roda, as dan cara penyetiran,
3. Metode pembongkaran muatan,
4. Kapasitas,
5. Sistem pembongkaran.

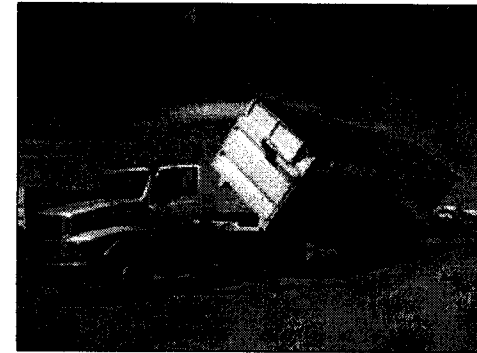
Berdasarkan metode pembongkarannya maka terdapat tiga jenis truk yaitu *rear dump*, *bottom dump*, dan *side dump*.

3.1.1. Rear Dump

Rear dump terdiri dari dua jenis, yaitu *rear dump truck* dan *rear dump tractor wagon.* Dari semua jenis truk maka *rear dump truck* adalah alat yang paling sering dipakai. Truk mempunyai kelebihan dibandingkan dengan wagon karena truk lebih mampu jika harus bergerak pada jalan menanjak.

Gambar 6.6. *Rear Dump*
(Sumber: *http://equipmentexchangeinc.com/db2/00194/equipmentexchangeinc.com*)

Cara kerja pembongkaran alat tipe ini adalah material dibongkar dengan cara menaikan bak bagian depan dengan sistem hidrolis. Rear-*dump truck* dipakai untuk mengangkut berbagai jenis material. Akan tetapi material lepas seperti tanah dan pasir kering merupakan material yang umum diangkut oleh *dump truck.* Material seperti batuan dapat merusak truk yang dipakai, oleh karena itu, pemuatan material harus dilakukan secara hati-hati atau bak truk dilapisi bahan yang tidak mudah rusak. Ukuran bak truk jenis ini berkisar antara 25 sampai 250 ton.

3.1.2. Side Dump

Side-dump truck dan *tractor-wagon* mengeluarkan material yang diangkutnya dengan menaikkan salah satu sisi bak ke samping. Saat pembongkaran material harus memperhatikan distribusi material dalam bak. Kelebihan material pada salah satu sisi dapat menyebabkan terjadinya jungkir pada saat pembongkaran material. Pada kondisi di mana pembongkaran muatan dilakukan pada tempat yang sempit dan panjang maka pemakaian truk dan *tractor wagon* jenis ini merupakan pilihan yang tepat.

Gambar 6.7. *Side Dump*
(Sumber: *http://www.courtneyberg.com/images/products/agri*)

3.1.3. Bottom Dump

Umumnya bottom dump adalah semitrailer. Material yang diangkut oleh *bottom-dump tractor-wagon* dikeluarkan melalui bagian bawah bak yang dapat dibuka di tengah-tengahnya. Pintu bak adalah sisi bagian bawah memanjang dari depan ke belakang. Pintu-pintu tersebut digerakkan secara hidrolis.

Bottom-dump tractor-wagon umumnya mengangkut material lepas seperti pasir, kerikil, batuan sedimen, lempung keras, dan lain-lain. Pembongkaran material dilakukan pada saat kendaraan bergerak. Kelandaian permukaan di mana alat tersebut digunakan sebaiknya kurang dari 5% karena bentuk dari alat tersebut tidak memungkinkan untuk daerah yang terjal.

Gambar 6.8. *Bottom Dump*
(Sumber: *http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/07_construction/images*)

3.2. Kapasitas Truk

Volume material yang diangkut harus sesuai dengan kapasitas truk. Jika pengangkutan material oleh truk dilaksanakan melampaui batas kapasitasnya maka hal-hal yang tidak diinginkan dapat terjadi, seperti:

1. Konsumsi bahan bakar bertambah,
2. Umur ban berkurang,
3. Kerusakan pada bak,
4. Mengurangi produktivitas.

Kapasitas dari bak penampung truk dan tractor-wagon terdiri dari *struck capacity* (kapasitas peres) dan *heaped capacity* (kapasitas munjung). Struck capacity adalah kapasitas alat di mana muatan mencapai ketinggian dari bak penampung. Jenis material yang lepas dengan daya lekat rendah seperti pasir dan kerikil umumnya tidak bisa menggunung jadi pengangkutannya dalam kapasitas peres. Sedangkan *heaped capacity* adalah kondisi di mana muatan mencapai ketinggian lebih dari ketinggian bak. Karena tanah liat mempunyai daya lekat antarbutir yang cukup besar maka kapasitas pengangkutan tanah liat dapat mencapai kapasitas munjung.

Besarnya kapasitas truk tergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk memuat material ke dalam truk terhadap waktu angkut truk. Pada umumnya, besarnya kapasitas truk yang dipilih adalah empat sampai lima kali kapasitas alat gali yang memasukkan material ke dalam truk. Akan tetapi penggunaan truk yang terlalu besar sangat tidak ekonomis kecuali jika volume tanah yang akan diangkut sangat besar.

Kapasitas dan ukuran truk sangat bervariasi. Oleh karena itu, pemilihan ukuran truk sangat penting karena truk besar atau kecil akan memberikan beberapa keuntungan dan kerugian.

1. Kelebihan truck kecil terhadap truk besar:
   - Bergerak lebih leluasa dan kecepatan lebih tinggi,
   - Kerugian dalam produktivitas akan lebih kecil jika salah satu truk tidak dapat beroperasi,
   - Kemudahan dalam memperhitungkan jumlah truk untuk setiap alat pemuat.
2. Kerugian truk kecil terhadap truk besar:
   - Kesulitan bagi alat pemuat dalam memuat material,
   - Jumlah truk yang banyak maka waktu antrean (ST) akan besar,
   - Memerlukan lebih banyak supir,
   - Meningkatkan investasi karena jumlah truk yang banyak.

3. Keuntungan truk besar terhadap truk kecil:
   - Jumlah truk yang sedikit menyebabkan investasi berkurang (bensin, perbaikan dan perawatan),
   - Kebutuhan supir yang tidak banyak,
   - Memudahkan alat pemuat dalam memuat material,
   - Waktu antre (ST) akan berkurang.
4. Kerugian truk besar terhadap truk kecil:
   - Bila alat pemuat kecil maka akan memperbesar waktu muat (LT),
   - Beban yang besar dari truk dan muatannya akan mempercepat kerusakan jalan,
   - Jumlah truk yang seimbang dengan alat pemuat akan sulit didapat,
   - Larangan pengangkutan di jalan raya dapat diberlakukan pada truk besar.

3.3. Produktivitas Truk

Produktivitas suatu alat selalu tergantung dari waktu siklus. Waktu siklus truk terdiri dari waktu pemuatan, waktu pengangkutan, waktu pembongkaran muatan, waktu perjalanan kembali, dan waktu antre. Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu-waktu tersebut adalah:

1. Waktu muat, tergantung pada:
   - Ukuran dan jenis alat pemuat,
   - Jenis dan kondisi material yang dimuat,
   - Kapasitas alat angkut,
   - Kemampuan operator alat pemuat dan alat angkut.
2. Waktu berangkat atau pengangkutan tergantung pada:
   - Jarak tempuh alat angkut,
   - Kondisi jalan yang dilalui (kelandaian, *rolling resistance,* dan lain-lain).
3. Waktu pembongkaran pemuatan tergantung pada:
   - Jenis dan kondisi material,
   - Cara pembongkaran material,
   - Jenis alat pengangkutan.
4. Waktu kembali juga dipengaruhi hal-hal yang sama seperti waktu pengangkutan
5. Waktu antre tergantung pada
   - Jenis alat pemuat,
   - Posisi alat pemuat,
   - Kemampuan alat pengangkut untuk berputar.

Rumus yang dipakai untuk menghitung produktivitas truk adalah:

$$\text{Prod} = \text{kapasitas} \times \frac{60}{CT} \times \textit{efisiensi} \qquad (6.2)$$

Perhitungan waktu berangkat dan waktu kembali dilakukan dengan menggunakan grafik pada lampiran yang pembacaannya sama dengan grafik untuk scraper.

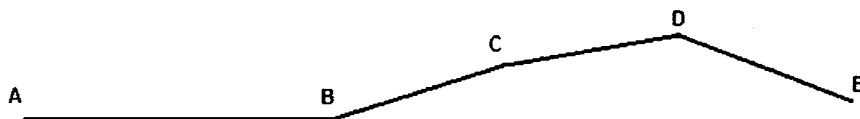
Tabel 6.6. Kapasitas dan Berat Truk

Tipe Truk	Heaped capacity m3 (yd3)	Struck capacity m3 (yd3	Berat kosong kg (lb)	Berat maks. kg (lb)
769 C	23,6	17,5	31178	67586
	30,9	22,9	68750	149000
773 B	34,1	26,0	39396	92534
	44,6	34,0	86869	204000
777 C	51,3	36,4	60055	146966
	67,1	47,6	132442	324000

Contoh 6.2:

Truk no. 773B digunakan untuk memindahkan tanah sebanyak 600.000 dari quarry A ke proyek E seperti gambar di bawah ini.

Ketentuan:

- Berat jenis tanah = 1300 kg/lcm
- Kapasitas truk = 29 lcm
- Efisiensi = 45/60
- Produktivitas loader = 110 lcm/jam
- Waktu isi = 3 menit; waktu bongkar = 1,5 menit
- Load factor = 0,80

Dari	L (km)	RR	GR
A – B	20	4	0
B – C	5	3,5	8
C – D	15	4,5	3
D – E	5	4	7

Pertanyaan:

1. Berapa produktivitas truk?
2. Berapa jumlah truk yang dibutuhkan?

Jawab:

$$\text{Jumlah tanah yang dipindahkan} = \frac{600.000}{0,8} = 750.000 lcm$$

Menghitung waktu pengangkutan:

Berat = berat kosong + (*heaped capacity* x bj tanah) < berat maksimum
= 39396 + (29 x 1300)
= 77096 kg < 92534 kg (OK)

Dari	RR	GR	TR	L (km)	V (km/jam)	t (menit)
A – B	4	0	4	20	45	26,67
B – C	3,5	8	11,5	5	18	16,67
C – D	4,5	3	7,5	15	24	37,50
D – E	4	-7	-3	5	65	04,62
					t2 =	**85,46**

Menghitung waktu kembali:

Berat = 39396 kg

Dari	RR	GR	TR	L (km)	V (km/jam)	t (menit)
E – D	4	7	11	5	32	09,38
D – C	4,5	-3	1,5	15	67	13,43
C – B	3,5	-8	-4,5	5	65	04,62
B – A	4	0	4	20	64	18,75
					t4 =	**46,48**

Waktu siklus = t1 + t2 + t3 + t4
= 3 + 85,46 + 1,50 + 46,18
=136,14 menit

Produktivitas truk = kapasitas x 60/CT x job efficiency
= 29 x 60/136,14 x 45 / 60
= 9,59 lcm/jam

Jumlah truk = produktivitas loader/produktivitas truk
= 110 / 9,59
= 11,5 ~ 12 truk

BAB VII
CRANE

1. PENDAHULUAN

Alat pengangkutan vertikal atau alat pengangkat yang biasa digunakan di dalam proyek konstruksi adalah *crane*. Cara kerja crane sebagai alat angkat adalah dengan mengangkat secara vertikal material yang akan dipindahkan, memindahkan secara horisontal, kemudian menurunkan material di tempat yang diinginkan. Sebenarnya selain untuk pekerjaan pengangkatan material, crane juga dapat dipakai untuk penggalian dan pemasangan tiang. Tentu saja untuk kedua pekerjaan ini alat (*attachment*) yang dipasangkan akan berbeda. Sebagai contoh untuk penggalian maka *attachment* nya adalah *dragline* dan *clamshell*.

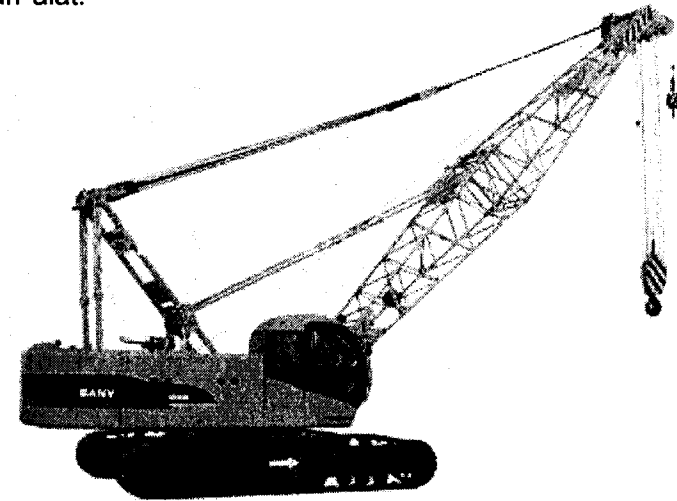
Tower crane merupakan jenis crane yang statis, namun ada beberapa jenis crane yang mempunyai penggerak. Karakteristik operasional semua crane yang bergerak pada prinsipnya sama, dengan perbedaan pada penggeraknya.

2. CRANE DENGAN PENGGERAK

Crane dengan penggerak artinya crane tersebut dapat melakukan mobilisasi dari satu tempat ke tempat lain. Jarak perpindahan tersebut tergantung pada jenis penggeraknya yaitu roda ban atau roda crawler. Crane yang mempunyai kemampuan bergerak ini terdiri atas tiga jenis yaitu *crawler mounting*, *truck mounting* dan *wheel mounting*.

2.1. Crane Beroda Crawler (*Crawler Mounted Crane*)

Tipe ini mempunyai bagian atas yang dapat bergerak 360° dengan adanya *turntable*. Dengan roda crawler maka crane tipe ini dapat bergerak di dalam lokasi proyek saat melakukan pekerjaannya namun pergerakkannya sangat terbatas. Pada saat crane akan dipindahkan maka crane diangkut dengan menggunakan *lowbed trailer*. Pengangkutan ini dilakukan dengan membongkar boom menjadi beberapa bagian untuk mempermudah pelaksanaan pengangkutan.

Pengaruh permukaan tanah terhadap alat tidak akan menjadi masalah karena lebar kontak antara permukaan dengan roda cukup besar artinya crane dapat berdiri dengan stabil, kecuali jika permukaan merupakan material yang sangat jelek. Pada saat pengangkatan material, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah posisi alat pada waktu pengoperasian harus benar-benar *water level*, keseimbangan alat dan penurunan permukaan tanah akibat beban dari alat tersebut. Pada permukaan yang jelek atau permukaan dengan kemungkinan terjadinya penurunan maka alat harus berdiri di atas suatu alas atau matras. Keseimbangan alat juga dipengaruhi oleh besarnya jarak roda crawler. Pada beberapa jenis crane, crane mempunyai crawler yang lebih panjang untuk mengatasi keseimbangan alat.

Gambar 7.1.
Crawler Crane
(Sumber: *http://aonecranes.com/images*)

2.2. Truk Crane (*Truck Mounted Crane*)

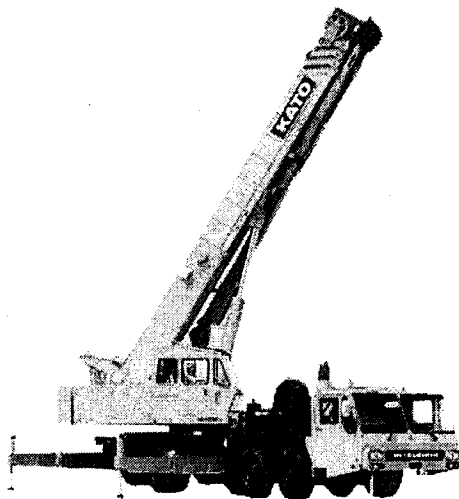
Crane jenis ini dapat berpindah tempat dari satu proyek ke proyek lainnya tanpa bantuan dari alat pengangkutan. Mobilitas alat cukup tinggi dengan kecepatan maksimum mencapai 55 km/jam. Akan tetapi beberapa bagian dari crane tetap harus dibongkar untuk mempermudah perpindahan. Sebelum menuju suatu proyek tertentu, rute perjalanan perlu dikenal untuk mengetahui adanya rintangan seperti kabel listrik yang rendah, *overpass* rendah, jembatan kecil, dan lain-lain. Seperti halnya crawler crane, truk crane ini juga mempunyai bagian atas yang dapat berputar 360°.

Untuk menjaga keseimbangan alat, *truck crane* memiliki kaki (*outrigger*) seperti yang terlihat pada Gambar 7.2. Dalam pengopera-

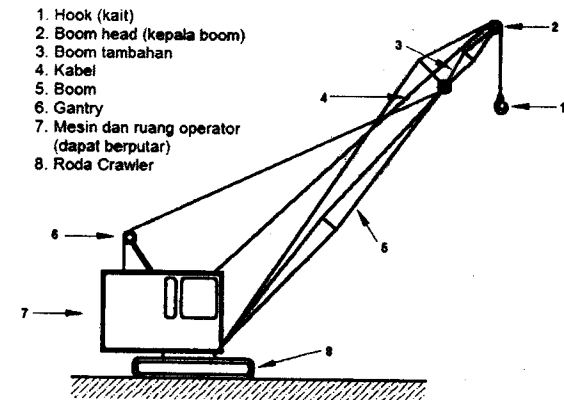
siannya kaki tersebut harus dipasangkan dan roda diangkat dari tanah sehingga keselamatan pengoperasian dengan boom yang panjang akan terjaga. Semakin keluar outrigger maka crane akan semakin stabil. Hal tersebut perlu menjadi perhatian karena crane jenis ini sangat tidak stabil. Selain itu, kondisi di mana crane bekerja juga harus ideal, yaitu tanpa guncangan, permukaan tanah yang datar (*water level*), dan cuaca tanpa angin.

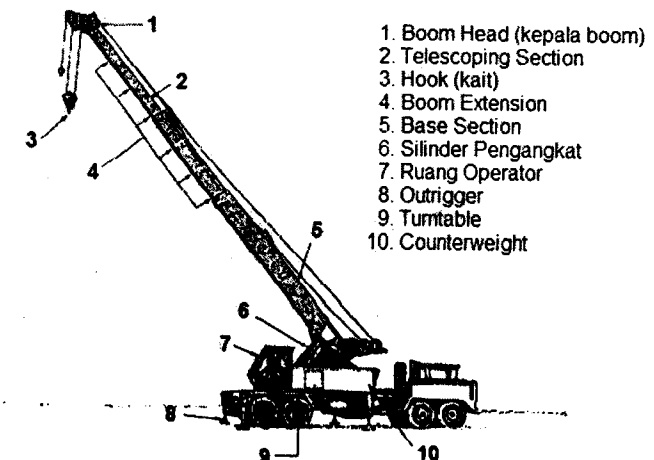
Gambar 7.2. *Truck Crane*
(Sumber: brosur *Sumitomo*)

2.3. Wheel Mounted Crane

Wheel mounted crane merupakan crane dengan penggerak roda ban. Lengan crane tipe ini adalah boom hidrolis. Crane ini juga dikenal sebagai *hydraulic crane* atau *telescopic crane*. Struktur atas crane jenis ini dilengkapi dengan telescopic boom, silinder hidrolis tunggal untuk pengangkat dan kait. Boom crane jenis ini dapat diperpanjang atau diperpendek sesuai dengan kebutuhan tanpa perlu adanya pembongkaran boom. Crane ini mampu bergerak dan fleksibel sehingga dapat dikemudikan di jalan.

Gambar 7.3. *Wheel Mounted Crane*
(Sumber: *http://www.riverteksrvices.com/images*)

3. STRUKTUR ATAS CRANE DENGAN PENGGERAK

Boom pada crane dengan penggerak dapat berupa *lattice boom* dan *telescopic boom*. Latice boom adalah boom crane yang terdiri dari rangkaian baja sedangkan telescopic boom adalah boom hidrolis yang panjang pendeknya diatur dengan menggunakan silinder hidrolis.

Gambar 7.4. *Skema Crane dengan Lattice Boom*

Lattice boom terdiri dari beberapa bagian utama yaitu kepala boom (*boom head*) dan boom tambahan (*boom extension*) seperti yang terlihat pada Gambar 7.4. Sedangkan telescopic boom terdiri atas *base section* atau *boom butt*, boom pertama, kedua, dan seterusnya yang disebut sebagai boom tambahan (*boom extension*) serta boom tip atau *head boom*. Secara detail, bagian-bagian dari telescopic boom diperlihatkan pada Gambar 7.5.

Gambar 7.5. *Skema Crane dengan Telescopic Boom*

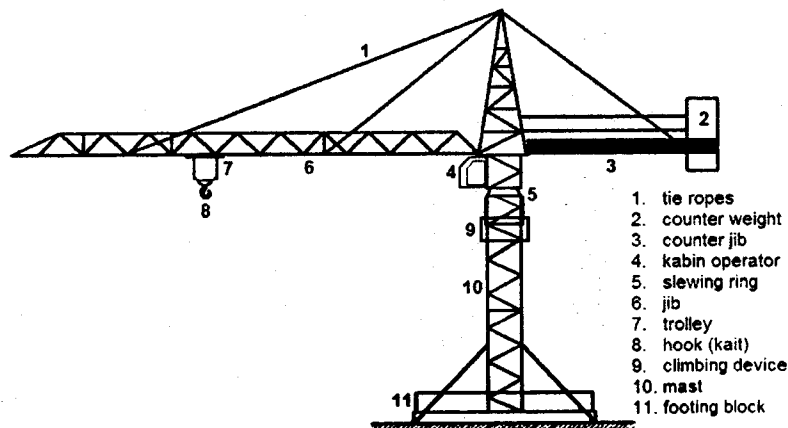
4. TOWER CRANE

Tower crane merupakan alat yang digunakan untuk mengangkat material secara vertikal dan horisontal ke suatu tempat yang tinggi pada ruang gerak yang terbatas. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tower crane terdiri dari bermacam-macam jenis. Pada saat pemilihan tower crane sebagai alat pengangkatan yang akan digunakan, beberapa pertimbangan perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kondisi lapangan tidak luas,
2. Ketinggian tidak terjangkau oleh alat lain,
3. Pergerakan alat tidak perlu.

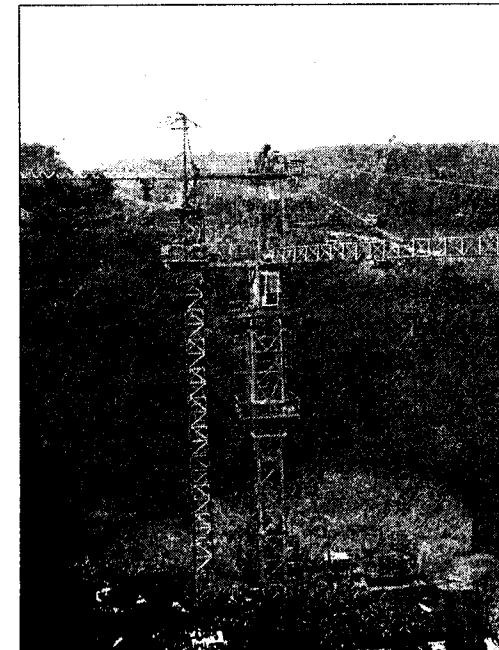
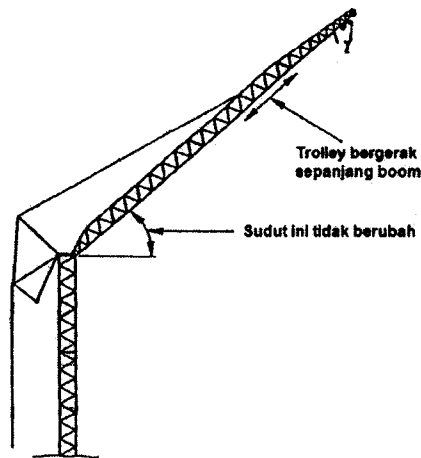
Pertimbangan ini harus direncanakan sebelum proyek dimulai karena tower crane diletakkan di tempat yang tetap selama proyek berlangsung, tower crane harus dapat memenuhi kebutuhan pemindahan material sesuai dengan daya jangkau yang ditetapkan serta pada saat proyek telah selesai pembongkaran crane harus dapat dilakukan dengan mudah.

5. BAGIAN TOWER CRANE

Bagian dari crane adalah *mast* atau tiang utama, *jib* dan *counter jib*, *counterweight*, *trolley* dan *tie ropes*. Mast merupakan tiang vertikal yang berdiri di atas *base* atau dasar. Jib merupakan tiang horisontal yang panjangnya ditentukan berdasarkan jangkauan yang diinginkan. Counter jib adalah tiang penyeimbang. Pada counter jib dipasangkan counterweight sebagai penyeimbang beban. Trolley merupakan alat yang bergerak sepanjang jib yang digunakan untuk memindahkan material secara

Gambar 7.6. ***Bagian-bagian Tower Crane***

horisontal dan pada trolley tersebut dipasangkan *hook* atau kait. Kait dapat bergerak secara vertikal untuk mengangkat material. Tie ropes adalah kawat yang berfungsi untuk menahan jib supaya tetap dalam kondisi lurus 90° terhadap tiang utama. Pada bagian atas tiang utama sebelum jib terdapat ruang operator dan di bawah ruang tersebut terdapat *slewing ring* yang berfungsi untuk memutar jib. Selain itu juga terdapat *climbing device* yang merupakan alat untuk menambah ketinggian crane.

Lengan pada crane yang disebut sebagai jib terdiri dari dua macam yaitu *saddle jib* dan *luffting jib*. Saddle jib adalah lengan yang mendatar dengan sudut 90° terhadap *mast* atau tiang tower crane. Jib jenis ini dapat bergerak 360°. Saddle jib terdiri dari dua bagian yaitu jib panjang yang berfungsi untuk pengangkatan material dan jib pendek berfungsi untuk penyeimbang (*counter jib*).

Sedangkan luffing jib mempunyai kelebihan dibandingkan dengan saddle jib karena sudut antara tiang dengan jib dapat diatur lebih dari 90°. Dengan kelebihan ini maka hambatan pada saat lengan berputar dapat dihindari. Dengan demikian pergerakan tower dengan luffing jib lebih bebas dibandingkan dengan alat yang menggunakan saddle jib. Jib jenis ini juga dapat bergerak 360° terhadap tiangnya.

Gambar 7.7.
Saddle Jib pada Free Standing Tower Crane

Gambar 7.8. *Skema Luffing Jib*
(Sumber: *http://www.towercranetraining.co.uk/towercranetypes_files*)

6. JENIS TOWER CRANE

Tipe tower crane dibagi berdasarkan cara crane tersebut berdiri. Pemilihan jenis tower crane harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti situasi proyek, bentuk struktur bangunan, kemudahan saat pemasangan dan pembongkaran serta ketinggian bangunan. Tower crane statis terdiri dari beberapa macam tipe yaitu *free standing crane*, *tied-in tower crane* dan *climbing crane*. Jenis yang dapat digerakkan adalah *rail mounted crane*.

6.1. Free Standing Crane

Free standing crane berdiri di atas pondasi yang khusus dipersiapkan untuk alat tersebut. Jika crane harus mencapai ketinggian yang besar maka digunakan pondasi dalam seperti tiang pancang. Syarat dari pondasi crane adalah pondasi tersebut harus mampu menahan momen akibat angin dan ayunan beban, berat crane, dan berat material yang diangkat. *Free standing crane* dapat berdiri sampai dengan ketinggian 100 m. Tiang utama (*mast*) diletakkan di atas dasar (*footing block*) dengan diberi ballast sebagai penyeimbang (*counterweight*). Ballast ini terbuat dari beton atau baja. *Saddle jib* dan *luffing jib* dapat digunakan pada crane ini.

6.2. Rail Mounted Crane

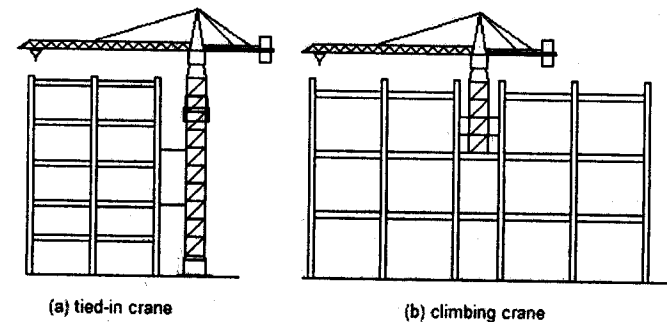
Penggunaan rel pada *rail mounted crane* mempermudah alat untuk bergerak sepanjang rel khusus. Desain pemasangan rel harus memperhatikan ada dan tidaknya tikungan karena tikungan akan mempersulit gerakan crane. Agar tetap seimbang gerakan crane tidak dapat terlalu cepat. Kelemahan dari crane tipe ini adalah harga rel yang cukup mahal. Rel harus diletakkan pada permukaan datar sehingga tiang tidak menjadi miring. Namun, keuntungan adanya rel adalah jangkauan crane menjadi lebih besar.

Turntable dari *rail-mounted* crane terletak di bagian bawah. Crane jenis ini digerakan dengan menggunakan motor penggerak. Jika kemiringan tiang melebihi 1/200 maka motor penggerak tidak mampu menggerakkan crane. Ketinggian maksimum rail mounted crane adalah 20 meter dengan berat beban yang diangkat tidak melebihi 4 ton. Batasan ini perlu diperhatikan untuk menghindari jungkir mengingat seluruh badan crane bergerak pada saat pengangkatan material.

6.3. Tied in Crane

Crane mampu berdiri bebas pada ketinggian kurang dari 100 m. Jika diperlukan crane dengan ketinggian lebih dari 100 m maka crane harus ditambatkan atau dijangkar pada struktur bangunan. Crane yang ditambatkan pada struktur bangunan dikenal sebagai *tied in crane.* Fungsi dari penjangkaran adalah untuk menahan gaya horisontal. Dengan demikian crane tipe ini dapat mencapai ketinggian sampai 200 m.

6.4. Climbing Crane

Dengan lahan yang terbatas maka alternatif penggunaan crane adalah crane panjat atau *climbing crane.* Crane tipe ini diletakkan dalam struktur bangunan, yaitu pada *core* atau inti bangunan. Crane bergerak naik bersamaan dengan struktur naik. Pengangkatan crane dimungkinkan dengan adanya dongkrak hidrolis atau *hydraulic jacks.*

Gambar 7.9. *Skema Crane yang Ditambatkan dan Crane Panjat*

7. KRITERIA PEMILIHAN TOWER CRANE

Material yang diangkut oleh crane tidak boleh melebihi kapasitasnya karena dapat menyebabkan terjadinya jungkir. Dalam pemilihan kapasitas crane hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

a. Berat, dimensi dan daya jangkau pada beban terberat,

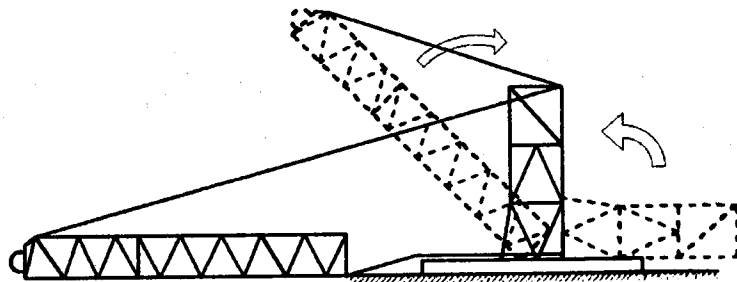
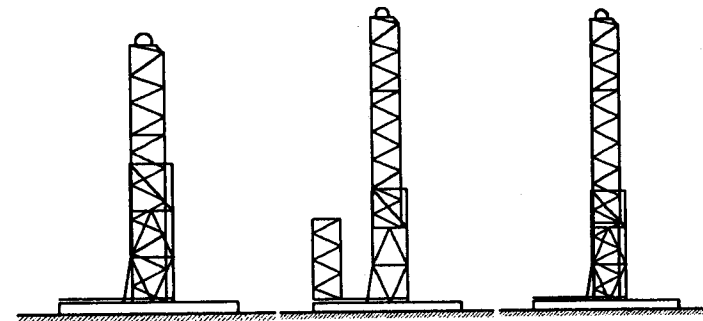
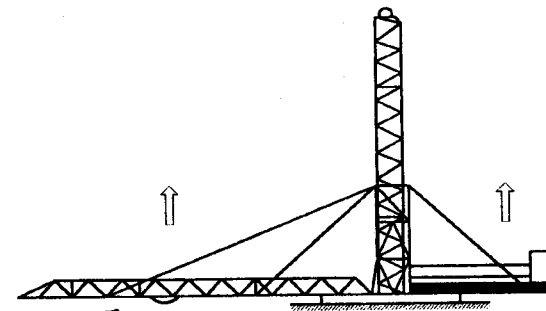
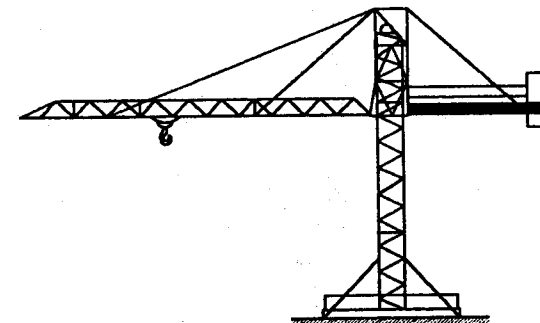
b. Ketinggian maksimum alat,
c. Perakitan alat di proyek,
d. Berat alat yang harus ditahan oleh strukturnya,
e. Ruang yang tersedia untuk alat,
f. Luas area yang harus dijangkau alat,
g. Kecepatan alat untuk memindahkan material.

Sedangkan faktor luar yang harus diperhatikan antara lain kekuatan angin terhadap alat, ayunan beban pada saat dipindahkan, kecepatan pemindahan material, dan pengereman mesin dalam pergerakannya.

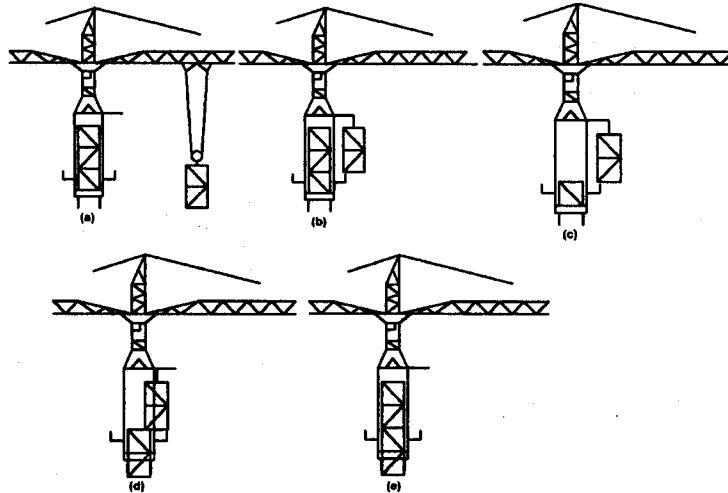
8. PEMASANGAN DAN PEMBONGKARAN TOWER CRANE

Karena jangkauan ketinggian yang cukup jauh maka pada saat pemasangan tower crane harus dilakukan secara bertahap dengan menggunakan mobile crane seperti telescoping crane. Yang harus menjadi perhatian adalah apakah pada tahapan perencanaan sudah diperhitungkan tambahan pondasi bagi tower crane serta tenaga listrik untuk pengoperasian tower crane.

Selanjutnya tahapan pemasangan adalah *pertama* menempatkan keempat kaki crane pada permukaan mendatar *block footing* tepat di tengah-tengah. Kemudian kaki-kaki tersebut dicor supaya menjadi satu bagian dengan *block footing*. Langkah selanjutnya adalah pemasangan mast atau tiang yang harus benar-benar tegak lurus. Pada saat pemasangan mast juga dipasangkan *climbing device* sebagai alat penambah ketinggian tiang.

Setelah itu slewing dipasang di atas mast yang dilanjutkan dengan pemasangan operator cabin. Tahap selanjutnya adalah pemasangan counter jib, counterweight, jib beserta trolley, dan hook. Sebelum pemasangan dilakkukan semua bagian disiapkan di tempat. Jib dipasang dan diangkat secara mandiri atau dengan bantuan crane lain. Untuk lebih jelasnya maka tahapan ini dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

Gambar 7.10.a. *Pemasangan Mast Pada Footing Block*

Gambar 7.10.b. *Penambahan Ketinggian Mast*

Gambar 7.10.c. *Pemasangan Jib dan Counter Jib*

Gambar 7.10.d. *Tower Crane yang Telah Terpasang*

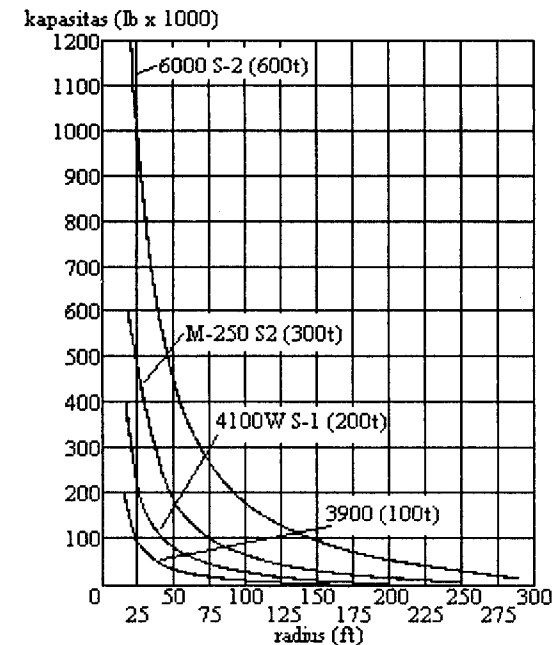
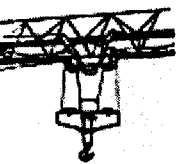
Setelah proyek selesai maka tower crane harus dibongkar. Urutan pekerjaan pembongkaran merupakan kebalikan dari pekerjaan pemasangan. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa lokasi di sekitar tower crane sudah tidak leluasa mengingat bangunan sudah didirikan di sana. Untuk pekerjaan pembongkaran crane, tingkat risiko kecelakaan pada pekerja sangat tinggi, sehingga diperlukan pekerja yang benar-benar menguasai alat dan tidak takut akan ketinggian.

Pada saat ketinggian tower crane akan ditambah maka climbing *device* dioperasikan. Harus diperhatikan bahwa ketinggian tower crane harus 4 sampai 6 meter lebih tinggi dari permukaan tertinggi yang akan dilayani. Selain itu, pada saat pelaksanaan penambahan ketinggian harus diperhatikan apakah semua alat bantu sudah siap pakai, tambahan tiang sudah disediakan dan cuaca di lokasi proyek yang tidak berangin. Urutan penambahan ketinggiannya dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

Gambar 7.11. *Tahapan Penambahan Ketinggian Mast*

9. PEMILIHAN KAPASITAS DAN JANGKAUAN CRANE

Kapasitas angkat crane tergantung dari panjang boomnya. Semakin panjang boom maka kapasitas angkatnya di bagian paling ujung akan semakin kecil. Setiap produsen pembuat crane akan memberikan buku panduan mengenai kapasitas alat yang diproduksinya. Gambar-gambar dan tabel-tabel berikut merupakan contoh panduan kapasitas pengangkatan material oleh crane.

Secara garis besar, pada saat menghitung beban sebaiknya perhitungan total beban dilakukan dengan menambahkan 5% dari total. Jadi pengasumsian beban adalah 105% dari beban yang sebenarnya. Angka 5% ini adalah faktor keamanan. Sedangkan berat material yang diangkut sebaiknya memenuhi hal-hal berikut ini:

a. Untuk mesin beroda crawler adalah 75% dari kapasitas alat,
b. Untuk mesin beroda ban adalah 85% dari kapasitas alat,
c. Untuk mesin yang memiliki kaki *(outrigger)* adalah 85% dari kapasitas alat.

Gambar 7.12. *Kapasitas Angkat untuk Crane Beroda Crawler*
(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Tabel 7.2. Kapasitas Angkat (lb)untuk 25 ton Truck Crane Hidrolis

RadiusBeban (ft)	Panjang boom (ft)						
	31,5	40	48	56	64	72	80
12	50000	45000	38700				
15	41500	39000	34400	30000			
20	29500	29500	27000	24800	22700	21000	
25	19600	19900	20100	20100	19100	17700	17100
30		14500	14700	14700	14800	14800	14200
35			11200	11300	11400	11400	11400
40			8800	8900	9000	9000	9000
45				7200	7300	7300	7300
50				5800	5900	6000	6000
55					4800	4900	4900
60					4000	4000	4000
65						3100	3300
70							2700
75							2200

(Sumber. *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

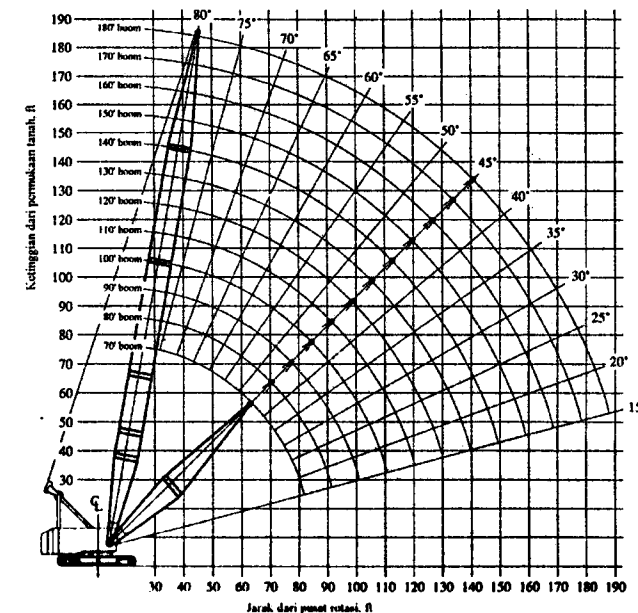
Tabel 7.3. Kapasitas Angkat Tower Crane (lb)

Jib Model	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	Jangkauan Kait
Maks. Jangkauan Kait	104'	123'	142'	161'	180'	199'	218'	
Untuk two-part line crane (crane dengan dua kabel pada kaitnya)	27600	27600	27600	27600	27600	27600	27600	10'-3"
	27600	27600	27600	27600	27600	27600	27600	88'-2"
	27600	27600	27600	27600	27600	27600	25800	94'-6"
	27600	27600	27600	27600	27600	25800	24200	101'-0"
	27600	27600	27600	27600	26800	24900	23400	104'-0"
		27600	27600	27600	25200	23600	22200	109'-8"
		27600	27600	25600	23300	21800	20500	117'-8"
		27000	27000	25100	22800	21300	20100	120'-0"
		26300	26300	24300	22200	20700	19500	123'-0"
			24800	22800	20800	19300	18300	130'-0"
			22400	20700	18700	17400	16400	142'-0"
				19500	17600	16300	15400	150'-0"
				18800	16800	15700	14800	155'-0"
				17900	16200	15100	14200	161'-0"
					15200	14200	13300	170'-0"
					14200	13200	12400	180'-0"
						12300	11600	190'-0"
						11700	10800	199'-0"
							10200	210'-0"
							9700	218'-0"

Jib Model	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	Jangkauan Kait
Maks. Jangkauan Kait	100¾'	119¾'	138¾'	157¾'	176¾'	195¾'	214¾'	
Untuk four-part line crane (crane dengan empat kabel pada kaitnya)	55200	55200	55200	55200	55200	55200	55200	13'-6"
	55200	55200	55200	55200	55200	55200	55200	48'-9"
	55200	55200	55200	55200	55200	55200	51400	51'-0"
	55200	55200	55200	55200	55200	51500	48500	53'-6"
	55200	55200	55200	55200	51300	48300	45600	56'-6"
	55200	55200	55200	50700	47100	44600	42100	60'-6"
	46200	46200	46200	42800	19700	37400	35200	70'-0"
	39400	39400	39400	36500	34100	31900	29900	80'-0"
	34600	34600	34600	31900	29700	17700	26100	90'-0"
	30700	30700	30700	28200	26100	24100	22600	100'-9"
		27800	27800	25600	23600	21700	20300	110'-0"
		25400	25400	23200	21300	19600	18300	119'-9"
			23100	21100	19300	17700	16400	130'-0"
			21300	19400	17800	16300	15100	138'-9"
				17600	16200	14700	13400	150'-0"
				16400	15100	13800	12700	157'-9"
					13600	12400	11400	170'-0"
					12900	11800	10800	176'-9"
						11500	10600	180'-0"
						10700	9800	190'-0"
						10200	9300	195'-9"
							9100	200'-0"
							8300	210'-0"
							8100	214'-9"

Berat Counterweight (lb)

Jib	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
105-HP hoist unit AC	37200	47600	50800	37200	40800	44000	54400
165-HP hoist unit AC	34000	44000	47600	34000	40800	40800	40800

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Gambar 7.13. *Jangkauan crane untuk 200 ton crane beroda crawler*
(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Contoh 7.1:

Pada suatu proyek direncanakan akan menggunakan tower crane sebagai alat angkat. Diperkirakan beban maksimal yang akan diangkat adalah 18750lb dengan daya jangkau mencapai 110ft. Tentukan jenis four line crane yang dapat digunakan untuk mengangkat beban pada jangkauan tersebut. Diperkirakan berat sling adalah 750 lb.

Jawab:

Diketahui

Berat beban	=	18.750 lb
Berat sling	=	750 lb
Total	=	19.500 lb
Faktor keamanan		× 1,05
Kapasitas yang diperlukan	=	**20.475 lb**

Dari Tabel 7.3 maka dapat dipilih crane L6 dengan kapasitas 21700 lb.

Contoh 7.2:

Tentukan ukuran minimum crane dan panjang boom minimum yang diperlukan untuk mengangkat beban seberat 80.000 lb dari truck pada permukaan tanah ke suatu tempat 76 ft di atas permukaan tanah. Jarak vertikal dari bagian bawah beban ke boom adalah 42 ft. Jarak horisontal minimum dari pusat rotasi adalah 40 ft.

Jawab:

Dengan menggunakan Gambar 7.11 maka dapat dilihat panjang boom yang digunakan adalah 120 ft karena panjang vertikal keseluruhan adalah 76 ft + 42 ft = 118 ft dan jarak horisontal adalah 40 ft.
Dengan menggunakan Gambar 7.10 maka jenis alat yang digunakan adalah M-250 S2 (300 ton).

BAB VIII
ALAT GALI (EXCAVATOR)

1. PENDAHULUAN

Yang termasuk dalam alat gali adalah *backhoe*, *power shovel* atau juga dikenal sebagai *front shovel*, *dragline*, dan *clamshell*. Secara umum alat terdiri atas struktur bawah, struktur atas, sistem dan *bucket*. Struktur bawah alat adalah penggerak yang dapat berupa roda ban maupun roda *crawler*. Alat-alat gali mempunyai as (*slewing ring*) di antara alat penggerak dan badan mesin sehingga alat berat tersebut dapat melakukan gerakkan memutar walaupun tidak ada gerakan pada alat penggerak atau mobilisasi. Kemudian sistem pada alat gali ada dua macam, yaitu sistem hidrolis dan sistem kabel. *Backhoe* dan *power shovel* disebut alat penggali dengan sistem hidrolis karena *bucket* digerakkan secara hidrolis. Sistem hidrolis ini selain menggerakkan bucket juga menggerakkan boom dan arm. Sedangkan *clamshell* dan *dragline* merupakan alat-alat dengan sistem kabel. Sistem kabel ini dipasangkan pada *boom* yang berupa rangka baja atau *lattice boom.*

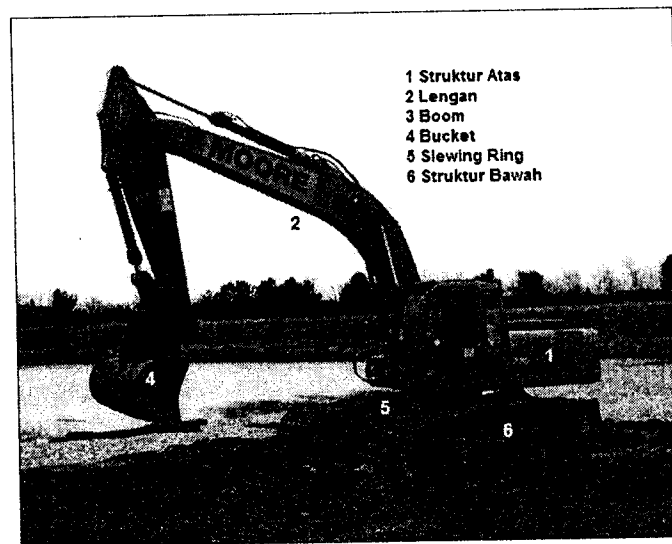
Pemilihan alat tergantung dari kemampuan alat tersebut pada suatu kondisi lapangan tertentu. Perbedaan setiap alat gali adalah pada benda yang dipasang di bagian depan, akan tetapi semua alat tersebut mempunyai kesamaan pada alat penggerak yaitu roda ban atau crawler. Alat beroda *crawler* umumnya dipilih jika alat tersebut akan digunakan pada permukaan kasar atau kurang padat. Selain itu juga karena alat tersebut dalam pengoperasiannya tidak perlu melakukan banyak gerak.

2. ALAT PENGGALI SISTEM HIDROLIS

Power shovel dan *backhoe* yang termasuk dalam alat penggali hidrolis memiliki bucket yang dipasangkan di depannya. Alat penggeraknya traktor dengan roda ban atau *crawler*. *Backhoe* bekerja dengan cara menggerakkan bucket ke arah bawah dan kemudian menariknya menuju badan alat. Sebaliknya *front shovel* bekerja dengan cara menggerakkan bucket ke arah atas dan menjauhi badan alat. Dengan demikian dapat dikatakan

bahwa *backhoe* menggali material yang berada di bawah permukaan di mana alat tersebut berada, sedangkan *front shovel* menggali material di permukaan dimana alat tersebut berada.

2.1. Backhoe

Pengoperasian *backhoe* umumnya untuk penggalian saluran, terowongan, atau basement. Backhoe beroda ban biasanya tidak digunakan untuk penggalian, tetapi lebih sering digunakan untuk pekerjaan umum lainnya. Backhoe digunakan pada pekerjaan penggalian di bawah permukaan serta untuk penggalian material keras. Dengan menggunakan backhoe maka akan didapatkan hasil galian yang rata. Pemilihan kapasitas bucket backhoe harus sesuai dengan pekerjaan yang akan dilakukan.

Gambar 8.1. *Backhoe dan Bagian-bagiannya*
(Sumber: *http://www.dumptruckhire.net/img*)

2.1.1. Bagian Backhoe

Backhoe terdiri dari enam bagian utama, yaitu struktur atas yang dapat berputar, boom, lengan (*arm*), bucket, slewing ring, dan struktur bawah. Boom, lengan dan bucket digerakkan oleh sistem hidrolis. Struktur bawah adalah penggerak utama yang dapat berupa roda ban atau roda crawler. Ada enam gerakan dasar backhoe yang mencakup gerakan-gerakan pada masing-masing bagian, yaitu:

1. *Gerakan boom:* merupakan gerakan boom yang mengarahkan bucket menuju tanah galian,
2. *Gerakan bucket menggali:* merupakan gerakan bucket saat menggali material,
3. *Gerakan bucket membongkar:* adalah gerakan bucket yang arahnya berlawanan dengan saat menggali,
4. *Gerakan lengan:* merupakan gerakan mengangkat lengan dengan radius sampai 100°,
5. *Gerakan slewing ring:* gerakan pada as yang bertujuan agar bagian atas backhoe dapat berputar 360°,
6. *Gerakan struktur bawah:* dipakai untuk perpindahan tempat jika area telah selesai digali.

2.1.2. Teknik Penggalian

Cara kerja backhoe pada saat penggalian adalah sebagai berikut:

1. boom dan bucket bergerak maju,
2. bucket digerakkan menuju alat,
3. bucket melakukan penetrasi ke dalam tanah,
4. bucket yang telah penuh diangkat,
5. struktur atas berputar,
6. bucket diayun sampai material di dalamnya keluar.

2.1.3. Produktivitas Backhoe

Jenis material berpengaruh dalam perhitungan produktivitas backhoe. Penentuan waktu siklus backhoe didasarkan pada pemilihan kapasitas bucket. Rumus yang dipakai untuk menghitung produktivitas backhoe adalah:

$$Produktivitas = V \times \frac{60}{CT} \times S \times BFF \times efisiensi \quad (8.1)$$

Produktivitas dihitung dalam m^3/jam, CT adalah waktu siklus (Tabel 8.1), S adalah faktor koreksi untuk kedalaman dan sudut putar (Tabel 8.2) dan BFF didapat dari Tabel 8.3.

Tabel 8.1. Waktu Siklus Backhoe Beroda Crawler (menit)

Jenis Materi	Ukuran Alat		
	£ 0,76 m^3	0,94–1,72 m^3	> 1,72 m^3
Kerikil, pasir, tanah organik	0,24	0,30	0,40
Tanah, lempung lunak	0,30	0,375	0,50
Batuan, lempung keras	0,375	0,462	0,60

(Sumber: *Construction Methods and Management*, 1998)

Tabel 8.2. Faktor Koreksi (S) untuk Kedalaman dan Sudut Putar

Kedalaman penggalian (% dari Maks.)	Sudut Putar (°)					
	45	60	75	90	120	180
30	1,33	1,26	1,21	1,15	1,08	0,95
50	1,28	1,21	1,16	1,10	1,03	0,91
70	1,16	1,10	1,05	1,00	0,94	0,83
90	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,75

(Sumber: *Construction Methods and Management*, 1998)

Tabel 8.3. Faktor Koreksi (BFF) untuk Alat Gali

Material	BFF (%)
Tanah dan tanah organik	80 – 110
Pasir dan kerikil	90 – 100
Lempung keras	65 – 95
Lempung basah	50 – 90
Batuan dengan peledakan buruk	40 – 70
Batuan dengan peledakan baik	70 – 90

(Sumber: *Construction Methods and Management*, 1998)

Contoh 8.1:

Backhoe digunakan untuk melakukan penggalian lempung keras. Alat mempunyai kapasitas 1,6 m³. Rata-rata kedalaman penggalian adalah 5,6 m dengan maksimum kedalaman penggalian adalah 8 m. Sudut putar alat adalah 75°. Berapa produktivitas alat jika efisiensi kerja adalah 50 menit/jam?

Jawab:

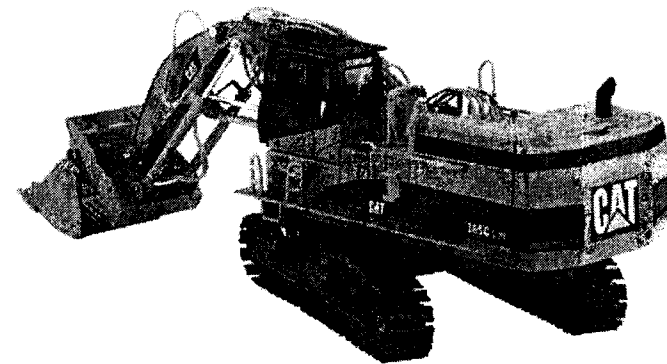
BFF (Tabel 8.3) untuk lempung keras adalah 68 – 85%, gunakan 80%
Waktu siklus (Tabel 8.1) adalah 0,462 menit
Prosentase kedalaman = 5,6 m/8 m = 0,7 = 70 %
Maka didapat S = 1,05 (tabel 8.2)

Produktivitas backhoe:

$$P = 1{,}6 \times \frac{60}{0{,}462} \times 1{,}05 \times 0{,}8 \times \frac{50}{60}$$

$$P = 145{,}45 m^3 / jam$$

2.2. Front Shovel

Front shovel digunakan untuk menggali material yang letaknya di atas permukaan di mana alat tersebut berada. Alat ini mempunyai kemampuan untuk menggali material yang keras. Jika material yang akan digali bersifat lunak, maka front shovel akan mengalami kesulitan. Dengan demikian, waktu penggalian dapat menjadi lebih lama. Sama halnya dengan kondisi di mana permukaan material yang akan digali lebih tinggi dari ketinggian minimum yang diperbolehkan untuk mengisi bucket. Maka dari itu ada faktor pengali untuk ketinggian penggalian dan pengaruh sudut putaran yang harus diperhitungkan dalam menentukan produktivitas *front shovel*.

Gambar 8.2. *Front Shovel*
(Sumber: *http://www.northerntool.com/images/product/images*)

2.2.1. Kriteria Pemilihan Front Shovel

Dalam memilih front shovel sebagai alat penggali, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan. *Pertama* adalah biaya penggalian. Biaya penggalian tergantung pada besarnya pekerjaan, biaya yang harus dikeluarkan untuk mengangkut front shovel ke proyek, dan biaya langsung. *Kedua* adalah kondisi pekerjaan. Kondisi pekerjaan di lapangan akan menentukan pemilihan jumlah dan kapasitas alat. Pekerjaan penggalian material keras akan lebih mudah dilakukan oleh front shovel dengan bucket yang besar, sama halnya dengan penggalian material hasil peledakan. Jika pekerjaan harus dilakukan pada waktu yang relatif singkat, maka dapat digunakan beberapa front shovel kecil atau satu front shovel besar. Kapasitas alat pengangkutan yang tersedia juga dapat mempengaruhi pemilihan besarnya front shovel yang akan dipakai.

2.2.2. Teknik Penggalian

Tahapan penggalian dengan menggunakan front shovel meliputi gerakan lengan, boom dan bucket. Boom digerakkan naik dan turun jika diperlukan.

Setelah bucket terisi, baru struktur atas berputar pada slewing ring-nya. Pada proses ini alat sebisa mungkin tidak berpindah. Langkah-langkah pekerjaannya adalah sebagai berikut:

1. Gerakan bucket ke depan sampai bagian ujung bucket menyentuh material,
2. Gerakan bucket ke atas yang bertujuan untuk menggaruk tebing sehingga bucket terisi,
3. Tarik bucket ke arah alat saat sudah terisi penuh material,
4. Struktur atas berputar untuk pembongkaran material baik dengan membentuk timbunan ataupun pada truk,
5. Saat posisi tebing sudah jauh dari jangkauan, alat digerakkan mendekati tebing untuk pekerjaan penggalian berikutnya.

2.2.3. *Produktivitas Front Shovel*

2.2.3.1. Pengaruh Material Terhadap Produktivitas

Untuk material yang mudah digali seperti pasir dan kerikil ketinggian optimum penggalian berkisar antara 30 sampai 50% dari ketinggian maksimum penggalian. Sedangkan untuk tanah pada umumnya maka ketinggian optimum kurang sedikit dari 40% ketinggian maksimum penggalian. Pada material yang sulit untuk dimuat seperti lempung dan batuan hasil peledakan ketinggian optimum penggalian berkisar 50% dari ketinggian maksimum penggalian. Kapasitas bucket front shovel tergantung dari jenis material. Oleh sebab itu, ada faktor koreksi dalam menentukan kapasitas bucket. Faktor koreksi tersebut dikalikan dengan kapasitas bucket (*heaped capacity*).

2.2.3.2. Waktu Siklus

Faktor-faktor yang mempengaruhi siklus kerja front shovel adalah kapasitas muat bucket, gerakkan bucket dengan muatan, pembongkaran muatan dan gerakkan bucket kosong. Untuk bucket berukuran antara 2,3 sampai 3,8 m³, waktu siklus front shovel adalah:

1. Waktu muat: 7 sampai 9 detik
2. Waktu berputar dengan muatan: 4 sampai 6 detik
3. Waktu bongkar: 2 sampai 4 detik
4. Waktu berputar kembali: 4 sampai 5 detik

2.2.3.3. Produktivitas

Selain jenis material, faktor-faktor penting yang mempengaruhi produktivitas front shovel adalah kondisi mesin, ketinggian penggalian, sudut putar dan gerakan alat pada slewing ringnya. Ketinggian penggalian sebaiknya pada tinggi optimal. Ketinggian optimal membuat alat dapat mengisi material penuh dalam satu siklus. Jika ketinggian lebih besar dari ketinggian optimal maka dapat menyebabkan bucket tidak terisi penuh. Sedangkan jika ketinggian gali lebih kecil daripada ketinggian optimal maka akan menyebabkan alat membentuk lubang yang dapat mengakibatkan longsor.

Pengaruh ketinggian penggalian dan sudut putaran dijabarkan dalam Tabel 8.4. Sudut putaran merupakan sudut boom yang berputar untuk melakukan pemuatan material dan pembongkaran muatan. Bila sudut putaran bertambah maka waktu siklus akan bertambah. Produktivitas ideal didapatkan bila sudut putaran adalah 90°.

Tabel 8.4. Faktor Penggali untuk Ketinggian Penggalian dan Sudut Putaran

Persentase kedalaman optimum	Sudut putaran						
	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
40	0,93	0,89	0,85	0,80	0,72	0,65	0,59
60	1,10	1,03	0,96	0,91	0,81	0,73	0,66
80	1,22	1,12	1,04	0,98	0,86	0,77	0,69
100	1,26	1,16	1,07	1,00	0,88	0,79	0,71
120	1,20	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,70
140	1,12	1,04	0,97	0,91	0,81	0,73	0,66
160	1,03	0,96	0,90	0,85	0,75	0,67	0,62

Contoh 8.2:

Front shovel dengan kapasitas 3 m³ mempunyai ketinggian maksimum penggalian 10 m. Alat digunakan untuk pemuatan tanah dengan tinggi permukaan 5 m. Karena situasi lapangan maka sudut putaran alat 60°. Berapa produktivitas sebenarnya jika waktu siklus alat adalah 18 detik?

Jawab:

Ketinggian optimum untuk alat dan material adalah:
40% x 10 m = 4 m
Dari Tabel 8.3, BFF adalah 80 – 110%, ambil nilai 100%
Produktivitas ideal untuk setiap jam:
(60menit-jam : (18 detik / 60 detik-menit)) x 3 m³ x 1 = 600 m³/jam
Persen ketinggian optimum: 5 m : 4 m = 1,25 = 125%
Koreksi untuk ketinggian dan putaran (Tabel 8.4) adalah 1,015
Maka produktivitas sebenarnya:
600 x 1,015 = 609 m³/jam

3. ALAT PENGGALI SISTEM KABEL

Dragline dan *Clamshell* adalah alat gali yang termasuk dalam alat penggali sistem kabel. Alat penggeraknya traktor dengan crawler. Alat dasar dari dragline dan clamshell adalah bucket yang dipasangkan pada *lattice boom*. Panjang boom dragline dan clamshell sama seperti crane akan tetapi lebih panjang daripada boom alat gali lain.

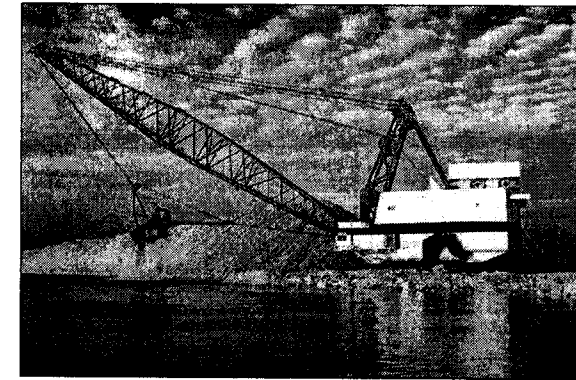
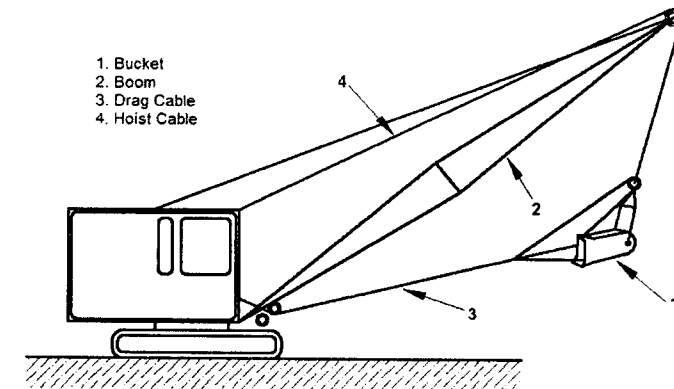
3.1. Dragline

Dragline merupakan alat gali yang dipakai untuk menggali material dengan jangkauan yang lebih jauh dari alat-alat gali lainnya. Ketinggian timbunan hasil pembongkaran, radius pergerakan dan jangkauan penggalian dragline lebih besar dibandingkan dengan dari alat gali lainnya pada ukuran bucket yang sama. Jika dibandingkan dengan front shovel, untuk kapasitas yang sama maka penggunaan dragline akan memberikan jangkauan yang lebih jauh. Namun dilihat dari segi produktivitasnya, dengan kapasitas yang sama maka produktivitas front shovel lebih besar daripada produktivitas dragline.

Jangkauan penggalian dragline dapat diperluas dengan menambahkan panjang boom. Dengan boom yang cukup panjang maka stabilitas dragline harus diperhitungkan karena penambahan panjang boom dapat mengakibatkan pengurangan kekuatan alat. Pada bagian ujung bucket dikaitkan kabel *drag* yang berfungsi untuk menarik bucket ke arah dragline saat penggalian. Umumnya alat dioperasikan pada sudut boom 40°.

Jenis material yang digali sebaiknya material yang lunak sampai agak keras. Pemakaian dragline sangat menguntungkan pada proyek pembuatan saluran di mana tanah mengandung air. Selain itu juga dragline digunakan untuk penggalian di bawah permukaan air. Dragline dengan bucket yang kecil dan ringan biasanya untuk penggalian material lepas dan kering. Jika dragline akan dipakai untuk penggalian material yang lebih keras maka pada alat tersebut harus ditambahkan rantai drag dan bucket diperkuat dengan pelat baja yang berfungsi untuk membantu bucket dalam menggali batuan pecah dan material padat. Bucket dragline yang sedang biasanya dipakai untuk menggali lempung dan kerikil atau pasir padat.

Hal yang perlu mendapat perhatian saat pengoperasian dragline antara lain ukuran bucket harus disesuaikan dengan kemampuan alat serta gigi bucket haruslah cukup kuat untuk melakukan penetrasi ke dalam tanah. Selain itu juga rantai penarik jangan sampai rusak.

Dragline mengalami kesulitan dalam mengontrol pembongkaran muatan. Karena itu sebaiknya alat pengangkut yang dipakai untuk mengangkut material hasil penggalian dragline berukuran besar. Ukuran kapasitas alat pengangkut sebaiknya 5 sampai 6 kali ukuran bucket dragline.

Gambar 8.3. *Dragline*
(Sumber: *http://www.dannaylor.com/gallery2/gal2imgs*)

Gambar 8.4. *Skema Dragline*

Dalam melakukan penggalian, dragline bekerja melalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut berupa satu siklus yang dimulai dari penggalian sampai pembongkaran. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Dengan gerakan mengayun, bucket menuju posisi menggali. Agar bucket jatuh tegak lurus dengan tanah maka *drag cable* dan *hoist cable* dikendorkan,
2. Kemudian *drag cable* ditarik dan *hoist cable* dimainkan agar kedalaman penggalian teratur,
3. Setelah bucket penuh, *hoist cable* dikunci dan bucket ditarik,
4. Boom kemudian melakukan berputar menuju tempat pembongkaran.

Tabel 8.5. Kedalaman Optimum dan Produktivitas Ideal Dragline dengan Boom Pendek (m dan bcm/jam)

Jenis material	Ukuran bucket (m^3)								
	0,29	0,38	0,57	0,76	0,96	1,15	1,34	1,53	1,91
Lempung berpasir, tanah organik	1,5 53	1,7 72	1,8 99	2,0 122	2,1 149	2,2 168	2,4 187	2,5 202	2,6 233
Pasir dan kerikil	1,5 49	1,7 69	1,8 95	2,0 118	2,1 141	2,2 160	2,4 180	2,5 195	2,6 225
Tanah umum	1,8 42	2,0 57	2,4 81	2,5 104	2,6 127	2,7 147	2,8 162	3,0 177	3,2 204
Lempung keras	2,2 27	2,5 42	2,7 69	2,8 85	3,1 104	3,3 123	3,5 139	3,6 150	3,8 177
Lempung basah dan lengket	2,2 15	2,5 23	2,7 42	2,8 58	3,1 73	3,3 85	3,5 100	3,6 112	3,8 135

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Tabel 8.6. Faktor Pengali untuk Kedalaman Penggalian dan Pengaruh Swing

Persentase Kedalaman Optimum	Sudut swing							
	30	45	60	75	90	120	150	180
20	1,06	0,99	0,94	0,90	0,87	0,81	0,75	0,70
40	1,17	1,08	1,02	0,97	0,93	0,85	0,78	0,72
60	1,24	1,13	1,06	1,01	0,97	0,88	0,80	0,74
80	1,29	1,17	1,09	1,04	0,99	0,90	0,82	0,76
100	1,32	1,19	1,11	1,05	1,00	0,91	0,83	0,77
120	1,29	1,17	1,09	1,03	0,98	0,90	0,82	0,76
140	1,25	1,14	1,06	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75
160	1,20	1,10	1,02	0,97	0,93	0,85	0,79	0,73
180	1,15	1,05	0,98	0,94	0,90	0,82	0,76	0,71
200	1,10	1,00	0,94	0,90	0,87	0,79	0,73	0,69

(Sumber: *Construction Planning, Equipment, and Methods*, 1996)

Produktivitas dragline tergantung pada faktor-faktor seperti jenis material, kedalaman penggalian, sudut swing, ukuran bucket, panjang boom, kapasitas alat pengangkut dan kondisi lapangan. Produktivitas alat dihitung pada kondisi tanah asli atau *bank condition.*

Contoh 8.3:

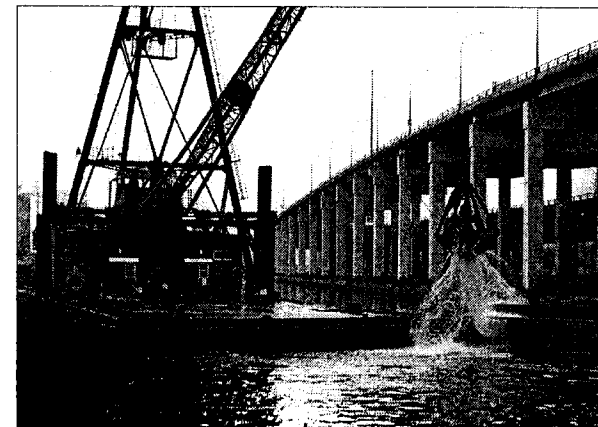
Dragline dengan kapasitas 1,34 m^3 digunakan untuk menggali lempung keras. Kedalaman penggalian 2,8 m dan sudut putaran boom adalah 90°. Jika efisiensi kerja adalah 50 menit per jam berapakah produktivitas alat?

Jawab:

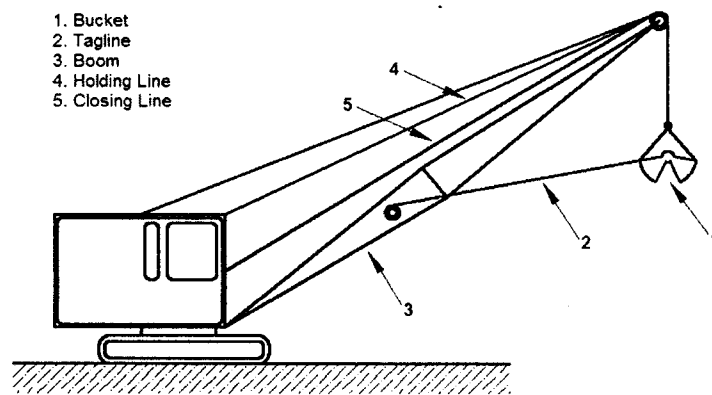
Kedalaman optimum penggalian (tabel 8.5) adalah 3,5 m
Persentase kedalaman optimum: (2,8 : 3,5) x 100% = 80%
Dari tabel 8.6 faktor pengali adalah 0,99.
Produktivitas alat = 139 x 0,99 x 50/60 = 114,675 bcm/jam

3.2. Clamshell

Pada umumnya clamshell digunakan untuk penggalian tanah lepas seperti pasir, kerikil, batuan pecah, dan lain-lain. Clamshell mengangkat material secara vertikal. Ukuran bucket pada clamshell bervariasi antara ringan sampai berat. Bucket yang ringan umumnya digunakan untuk memindahkan material, sedangkan bucket berukuran berat digunakan untuk menggali. Pada bucket yang berukuran berat umumnya dipasangkan gigi yang membantu alat dalam menggali material. Dalam pemilihan tipe bucket perlu diperhatikan bahwa bucket yang berat dapat mempersulit pengangkutan namun membantu penggalian.

Pada pengoperasian clamshell perlu diperhatikan bahwa penggalian tergantung pada berat bucket serta kapasitas mesin seperti yang telah dijelaskan di atas. Selain itu panjang rantai akan mempengaruhi kedalaman penggalian. Sedangkan jangkauan clamshell akan tergantung pada panjang boom. Untuk memaksimalkan daya angkat clamshell maka boom yang digunakan sependek mungkin. Hal ini erat kaitannya dengan kestabilan alat. Semakin panjang boom maka alat akan semakin tidak stabil yang pada akhirnya akan menurunkan daya angkat alat. Daya angkat clamshell juga dapat ditingkatkan dengan memperkecil sudut swing.

Gambar 8.5. *Clamshell*
(Sumber: *http://www.boatnerd.com/news/newpictures03b*)

Pada umumnya waktu siklus clamshell didapat dari hasil perkiraan berdasarkan pengalaman. Siklus kerja clamshel meliputi kegiatan-kegiatan pengisian (*filling*) bucket, pengangkatan bucket penuh, berputar, dan pembongkaran (*dumping*). Secara lebih detail, cara kerja clamshell pada saat pengisian bucket adalah sebagai berikut:

1. Bucket digantungkan pada kepala crane melalui *hoist cable,*
2. Kemudian tag cable dilepas,
3. Bucket turun karena beratnya sendiri dan rahangnya membuka,
4. Untuk mengisi bucket, rahang ditutup dengan menarik tag cable.

Gambar 8.6. *Skema Clamshell*

Perhitungan produktivitas clamshell menggunakan persamaan:

$$Produktivitas = V \times \frac{60}{CT} \times BFF \times efisiensi \qquad (8.2)$$

Contoh 8.4:

Clamshell dengan kapasitas 1,34 m^3 digunakan untuk menggali pasir. Diperkirakan waktu siklus alat adalah 30 detik dengan efisiensi 55 menit/jam. Berapakah produktivitas alat tersebut?

Jawab:

$$\text{Prod} = 1{,}34 \times \frac{60}{0{,}5} \times 1 \times 55/60 = 147{,}4 \text{ lcm/jam}$$

BAB IX
ALAT PEMADATAN

1. PENDAHULUAN

Material timbunan di suatu lokasi biasanya merupakan material lepas. Material ini secara alami akan menjadi padat karena pengaruh waktu dan cuaca. Proses pemadatan alamiah ini berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Pada proyek konstruksi di mana waktu adalah bagian penting di dalam pelaksanaannya maka proses pemadatan dipercepat. Untuk mempercepat pemadatan ini digunakan peralatan mekanik. Yang dimaksud dengan proses pemadatan adalah proses keluarnya udara dari dalam rongga atau proses untuk mengurangi adanya rongga antarpartikel tanah sehingga volume tanah menjadi lebih kecil.

Dalam proyek konstruksi proses ini dilakukan oleh alat pemadat khusus yang berupa *compactor.* Akan tetapi dengan adanya lalu lintas alat-alat di atas suatu lokasi proyek maka secara tidak langsung material di permukaan tersebut menjadi lebih padat, apalagi jika yang melewati permukaan tersebut adalah alat berat. Roda crawler pada alat berat memberikan tekanan terhadap permukaan tanah yang cukup besar, demikian juga roda ban. Dapat ditarik suatu kesimpulan dari pengalaman yang ada bahwa alat-alat berat yang melewati suatu permukaan proyek dapat memberikan kontribusi sekitar 75% terhadap kepadatan yang diinginkan. Terdapat empat faktor yang mempengaruhi proses pemadatan, yaitu:

1. Gradasi material yang akan dipadatkan,
2. Kadar air dari material (*moisture content*),
3. Usaha pemadatan (*compactive effort*),
4. Karakteristik tanah.

Tujuan dari proses pemadatan ini bermacam-macam. Pertama pemadatan dilakukan untuk mengurangi perubahan bentuk (*distorsi*) terhadap permukaan tanah. Selain itu juga dengan dilakukannya pemadatan maka dapat memperkecil penurunan (*settlement*) permukaan

tanah. Tujuan lain dari pemadatan adalah meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi permeabilitas atau masuknya air ke dalam tanah. Hasil dari proses pemadatan ini akan mengubah kepadatan (*density*) tanah. Namun besarnya perubahan ini tergantung dari tipe material dan kandungan air (*moisture content*).

2. METODE PEMADATAN

Proses pemadatan dapat dilakukan dengan beberapa cara. Pemadatan dapat dilakukan dengan memberikan getaran, khususnya pada partikel-partikel yang kering dan seragam. Sedangkan pada jenis material yang liat dan banyak mengandung air, pemadatan dilakukan dengan memberikan tekanan di atasnya. Pada kebanyakan tanah yang mengandung partikel halus dan sedikit lembab, pemadatan dilakukan dengan memberikan tekanan dengan berat yang tetap (*static weight*), getaran (*vibrating*) atau keduanya. Secara lebih jelasnya, energi yang diberikan oleh alat terhadap permukaan tanah dilakukan melalui metode:

1. *Kneading* atau peremasan
   Tanah diremas oleh gigi pada roda sehingga udara dan air yang terdapat di antara partikel material dapat dikeluarkan.
2. *Static weight* atau pemberat
   Permukaan tanah ditekan oleh suatu berat tertentu secara perlahan-lahan.
3. *Vibration* atau getaran
   Tanah di bawah alat pemadatan diberikan getaran yang berasal dari alat tersebut sehingga partikel tanah yang kecil dapat masuk di antara partikel-partikel yang lebih besar untuk mengisi rongga yang ada.
4. *Impact* atau tumbukan
   Proses yang dilakukan dengan metode ini adalah dengan menjatuhkan benda dari suatu ketinggian. Selain tanah menjadi lebih padat, dengan proses ini partikel tanah yang lebih besar menjadi pecah sehingga butiran partikel menjadi seragam.

3. JENIS ALAT PEMADATAN

Jenis alat pemadatan yang umum dipakai di dalam proyek konstruksi terdiri atas tujuh jenis yang pemakaiannya tergantung dari kebutuhan. Jenis-jenis tersebut adalah:

1. Tamping roller,
2. Modified tamping roller,
3. Smooth-wheel roller,
4. Pneumatic-tired roller,
5. Vibrating compactor, termasuk tamping, smooth-wheel dan pneumatic,
6. Vibrating plate secara manual,
7. Compactor manual.

Compactor juga dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor. Jika diklasifikasikan berdasarkan pergerakan maka terdapat dua jenis compactor, yaitu yang dapat bergerak sendiri (*self propelled*) dan yang ditarik traktor (*towed*). Jika dilihat dari jenis roda penggilasnya, compactor ada yang beroda baja (*steel wheel*) dan beroda karet (*pneumatic*). Alat pemadatan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk permukaan roda, yaitu halus (*plain*), segment grid dan sheep's foot. Susunan roda alat pemadatan juga bermacam-macam seperti beroda 3 (*three wheels*), beroda 2 (*tandem roller*) dan *three axle tandem roller*. Umumnya compactor mempunyai susunan roda depan yang berfungsi sebagai guide roll dan roda belakang yang berfungsi sebagai drive roll.

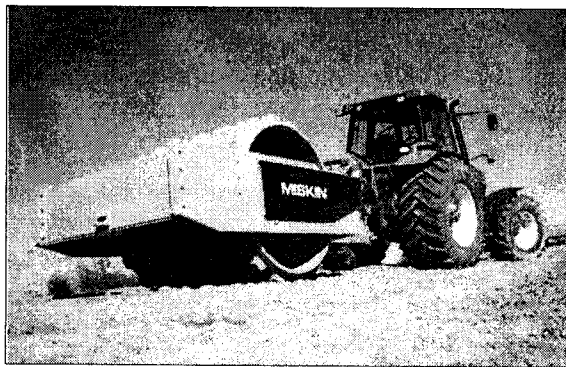
Tabel 9.1. Alat Pemadat yang Cocok untuk Jenis Tanah Tertentu

Material	Steel Wheel	Pneumatic	Vibratory	Tamping Foot	Grid
Batuan	1	3	1	1	1
Kerikil, bersih atau berlumpur	1	2	1	1	1
Kerikil, berlempung	1	2	2	1	2
Pasir, bersih atau berlumpur	3	3	1	3	2
Pasir, berlempung	3	2	2	1	3
Lempung, berpasir atau berlumpur	3	1	2	1	3
Lempung, berat	3	1	2	1	3

Keterangan:
1 = direkomendasikan
2 = dapat dipakai
3 = kurang direkomendasikan
(Sumber: *Construction Methods and Management*, 1998)

3.1. Tamping Roller

Yang disebut dengan tamping roller adalah alat pemadatan yang berupa *sheep's foot roller*. Dalam pengoperasiannya, tamping roller ada yang dapat bergerak sendiri maupun ditarik oleh alat lain. Jenis alat pemadatan ini mempunyai roda baja yang pada permukaannya terdapat gigi-gigi. Setiap roller atau rodanya mempunyai lebar dan keliling yang bervariasi. Setiap unit alat pemadatan ini terdiri dari satu atau lebih roda.

Metode pemadatan yang digunakan oleh alat ini adalah *kneading action* atau peremasan. Dengan pemadatan metode ini permukaan tanah diharapkan dapat dilalui tanpa mengalami banyak hambatan. Saat material telah padat, kaki tidak masuk lagi ke dalam tanah. Jika kepadatan permukaan tanah tidak sesuai dengan apa yang ingin dicapai, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa alat yang digunakan terlalu berat atau alat tidak cocok untuk jenis material yang ada. Tamping roller baik digunakan untuk jenis tanah lempung berpasir dengan kedalaman efektif pemadatan sekitar 15 sampai 25 cm. Dalam pengoperasiannya, setiap pemadatan dilakukan secara overlap kurang lebih 30 cm.

Gambar 9.1. *Tamping Roller*
(Sumber: *http://www.miskin.com/Compactor*)

3.2. Modified Tamping Roller

Sering disebut juga sebagai *grid roller*. Dengan memberikan pemberat *(ballast)* berupa balok beton, tekanan yang diberikan alat pada tanah menjadi lebih besar. Jika tanah mengandung batuan, grid roller yang diberi pemberat dapat membantu alat untuk memecahkan batuan sehingga permukaan tanah relatif lebih rata. Biasanya digunakan pada tanah kohesif (tidak untuk pasir dan lempung lunak).

3.3. Smooth-wheel Roller

Jenis pemadatan tipe ini memakai metode berat statis dan dibagi berdasarkan tipe dan beratnya. Berat *smooth-wheel roller* ditentukan dalam ton. Kadang-kadang berat alat ini ditingkatkan dengan cara diberi pemberat dari air atau pasir. Jika spesifikasi sebuah alat adalah 8-14 ton maka berat alat tanpa pemberat adalah 8 ton dan berat maksimum pemberat adalah 6 ton.

Roda alat pemadatan ini adalah baja dengan permukaan rata. Jumlah rodanya 1, 2, dan 3. Tipenya adalah *single-axle roller, tandem roller* dan *three-wheeled roller.* Smooth-wheel roller sangat baik digunakan untuk memadatkan material berbutir seperti pasir, kerikil, dan batuan pecah. Permukaan tanah yang telah dipadatkan dengan tamping roller akan menjadi lebih licin dan rata jika dipadatkan kembali dengan alat ini. Kedalaman efektif lapisan yang dipadatkan dengan alat ini sekitar 10 cm sampai 20 cm.

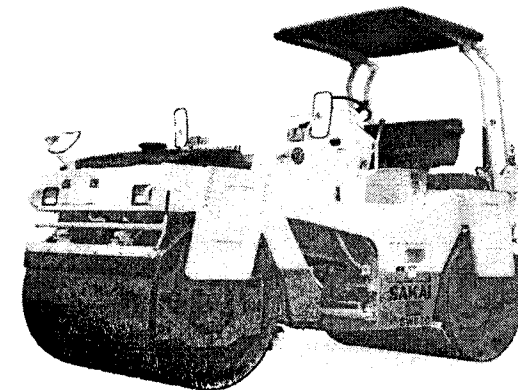
Dalam pengoperasiannya, ada beberapa teknik yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Hindari percepatan atau pengereman tiba-tiba,
2. Hindari berbelok secara tajam,
3. Gunakan sprinkler saat bekerja dengan material panas dan lengket,
4. Jangan biarkan alat berada di atas material yang sedang mengeras untuk menghindari penurunan.

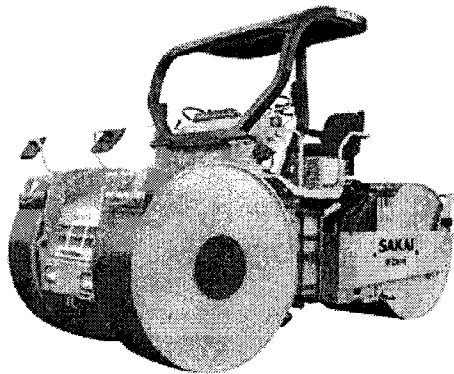
3.3.1. Single-axle Roller

Single-axle roller diberi ballast atau pemberat (dapat berupa air atau pasir) untuk meningkatkan beratnya. Jenisnya ada yang ditarik atau bermesin sendiri (*self propelled roller*). Jenis self propelled roller menghasilkan permukaan lebih rata.

3.3.2. Three-wheeled Roller

Roda alat ini ada tiga buah, yaitu satu roda depan yang lebih lebar daripada kedua roda belakang. Biasanya three-wheeled roller digunakan untuk memadatkan material aspal pada pekerjaan jalan. Pada pengoperasiannya, alat ini digunakan setelah alat lain yang mempunyai kemampuan pemadatan lebih dalam. Sama halnya dengan tandem roller, alat digerakkan oleh roda depan.

Gambar 9.2. *Single-axle roller*
(Sumber: *http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/09_construction/images*)

3.3.3. *Tandem Roller*

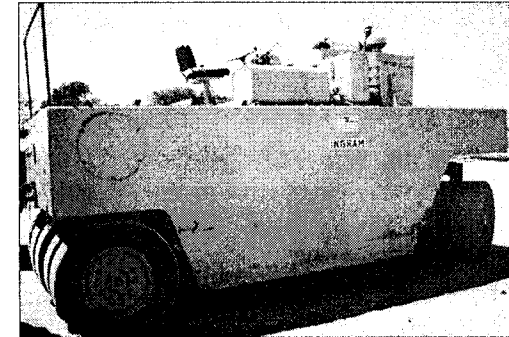
Biasanya digunakan untuk penggilasan akhir, artinya fungsi alat ini adalah untuk meratakan permukaan. Tandem roller tidak dipakai untuk permukaan batuan keras dan tajam karena dapat merusak roda. Ada dua model tandem roller, yaitu *two axle tandem roller* dan *three axle tandem roller*. Model yang pertama mempunyai berat berkisar 8 sampai 14 ton. Ballast yang dipakai biasanya cairan. Sedangkan three axle tandem roller berfungsi untuk menambah kepadatan. Biasanya three axle tandem roller dipakai pada proyek lapangan terbang.

Gambar 9.3. *Three-Wheeled Roller*
(Sumber: *http://www.infrastructures.com/0306*)

3.4. Pneumatic-tired Roller

Proses pemadatan alat ini menggunakan gabungan antara metode *kneading action* dan *static weight*. Tekanan alat pada permukaan tanah diatur dengan cara mengatur berat alat, menambah atau mengurangi tekanan ban, mengatur lebar ban, dan mengatur tekanan ban.

Tekanan pada ban diatur sesuai dengan kondisi tanah. Untuk pekerjaan pemadatan tanah alat ini memerlukan 4 sampai 8 pass. Sedangkan untuk pekerjaan pemadatan jalan dilakukan dengan 4 sampai 6 pass. Kecepatan pemadatan yang paling baik adalah 20 kpj (maju dan mundur).

Pneumatic tired roller juga menggunakan ballast untuk penambahan berat. Dengan penggunaan ballast dari batu maka terjadi penambahan berat sampai 2 kali. Jika alat akan digunakan untuk pemadatan lapisan aspal panas *(hotmix asphalt)* maka alat ini digunakan tanpa ballast.

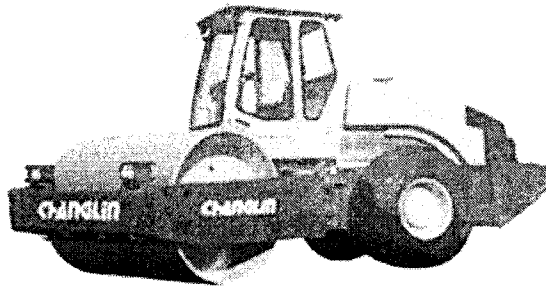
Roda pada pneumatic tired roller terdiri dari 2 macam roda, yaitu besar dan kecil. Alat ini ada yang kecil dengan jumlah as roda dua buah yang terdiri dari tujuh roda (tiga depan dan empat belakang) dan yang besar dengan sembilan roda (empat depan dan lima belakang). Roda belakang dan roda depan letaknya tidak sejajar, sehingga rongga antara roda dapat tetap dipadatkan dengan roda belakang. Tekanan pada roda yang sangat besar serta berat dari alat yang cukup besar membuat alat ini mampu memadatkan tanah sampai ke kedalaman yang besar. Alat pemadatan yang kecil baik digunakan untuk memadatkan lapisan dengan kedalaman berkisar antara 10 sampai 20 cm, sedangkan alat yang besar dapat mencapai kedalaman 60 cm.

Gambar 9.4. *Pneumatic Roller*
(Sumber: *http://www.impact-enterprises.com/photo*)

Dalam pengoperasian alat ini perlu diperhatikan beberapa hal, antara lain pada pekerjaan finishing jalan, ballast jangan digunakan. Karena roda alat ini merupakan ban karet maka sebelum penggunaan alat ini maka area pekerjaan perlu dibebaskan dari benda tajam yang dapat merusak roda. Selain itu juga hindari membelokkan alat pada area yang dipadatkan karena dapat mengubah bentuk permukaan.

3.5. Vibrating Compactor

Dengan alat ini, jenis material seperti pasir, kerikil, dan batuan pecah dapat dipadatkan dengan lebih baik karena alat ini memberikan tekanan dan getaran terhadap material di bawahnya. Dengan adanya getaran maka partikel yang lebih kecil mengisi rongga di antara partikel-partikel yang lebih besar. Dengan adanya tekanan statis maka tanah akan padat dengan kekosongan minimum.

Alat yang mempunyai roda depan besi dan roda belakang karet digunakan untuk pemadatan tanah. Pada roda karet terdapat kembang yang berfungsi untuk menjaga agar alat tidak mengalami slip. Yang termasuk vibrating compactor adalah *vibrating padded drum roller* dan *vibrating stool drum roller*. Alat dengan roda depan dan belakang yang terbuat dari besi (*vibrating padded drum roller*) digunakan untuk pemadatan aspal. Alat ini mampu untuk memadatkan lapisan berkisar pada kedalaman

antara 7,5 sampai 15 cm. Akan tetapi, vibrating steel drum roller yang besar dapat melakukan pemadatan hingga mencapai kedalaman 1 meter.

Gambar 9.5. *Vibrating Compactor*
(Sumber: *http://img.alibaba.com/photo/50403408*)

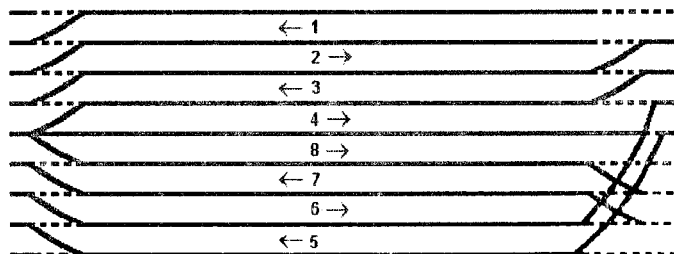
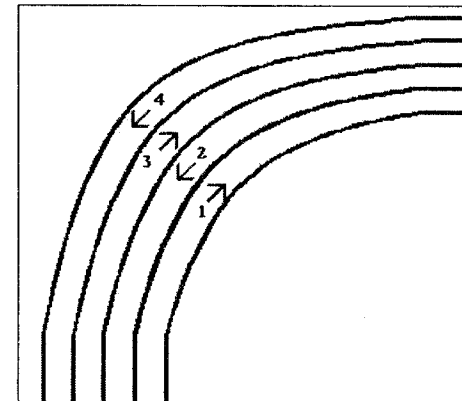
3.6. Manually Operated Vibratory Plate Compactor

Alat ini digunakan sebagai pemadat tanah dan lapisan aspal di mana alat yang besar tidak dapat atau kurang efektif untuk digunakan. Alat ini digerakkan secara manual.

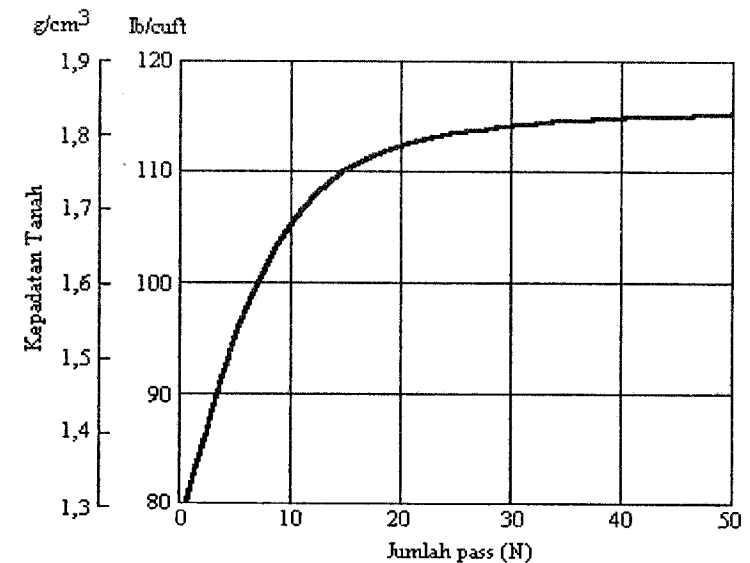
3.7. Manually Operated Rammer Compactor

Alat ini juga digerakkan secara manual. Alat tersebut baik digunakan untuk memadatkan tanah yang kohesif dan tanah campuran.

4. METODE PEMADATAN JALAN

Pada saat melakukan pemadatan, untuk menjaga kemiringan permukaan maka pekerjaan dimulai pada jalur tepi terendah. Hal ini bertujuan untuk menahan pergeseran tanah. Artinya, jalur terendah yang telah dipadatkan terlebih dahulu akan menahan pergeseran tanah pada jalur yang lebih tinggi. Untuk perpindahan jalur maka compactor harus melakukannya pada saat alat berjalan maju. Untuk pemadatan serta perpindahan compactor pada jalan lurus dan lengkung dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

Gambar 9.6. Pemadatan Jalan Lurus

Gambar 9.7.
Pemadatan Jalan Membelok

5. PRODUKTIVITAS ALAT PEMADATAN

Untuk mendapatkan produtivitas yang efektif, ketebalan lapisan yang akan dipadatkan janganlah terlalu besar. Untuk semua roller kecuali vibratory and pneumatic roller yang besar, ketebalan pemadatan yang disarankan berkisar antara 15 sampai 20 cm. Untuk pneumatic roller ketebalan pemadatan sekitar 30 cm sedangkan vibratory roller ketebalannya tergantung pada jenis tanah dan berat alat. Untuk tanah berbutir ketebalan yang efektif berkisar antara 20 sampai 122 cm tergantung dari berat alat, sedangkan untuk batuan ketebalannya bisa mencapai 2,1 m.

Gambar 9.8. Jumlah Pass Versus Kepadatan
(Sumber *Construction Methods and Management*, 1998)

Perhitungan produktivitas alat pemadat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$Prod = \frac{10 \times W \times S \times L \times E}{P} \quad (8.1)$$

P adalah jumlah pass yang diperlukan untuk pemadatan (ccm/jam), *W* adalah lebar pemadatan per pass (m), *S* adalah kecepatan pemadatan (km/jam), *L* ketebalan lapisan akhir yang diinginkan (cm).

Jumlah pass yang diperlukan untuk mencapai kepadatan tertentu tergantung dari jenis tanah dan densitas atau kepadatan (g/cm^3, lb/cuft) tertentu. Pada grafik di bawah dapat dilihat berapa pass yang diperlukan untuk mencapai kepadatan yang diinginkan.

Contoh 9.1:
Perkirakan produktivitas sebuah alat pemadatan jika kecepatan rata-rata alat adalah 8 km/jam, ketebalan pemadatan 15 cm, lebar pemadatan 3 m, efisiensi 50 menit/jam, dan jumlah pass adalah 8.

Jawab:

$$\text{Prod} = \frac{10 \times 3 \times 8 \times 15 \times 50/60}{8} = 375\text{ccm/jam}$$

BAB X
ALAT PEMANCANG TIANG

1. PENDAHULUAN

Proyek-proyek besar seperti gedung pencakar langit (*high rise building*) memerlukan pondasi yang kuat untuk menyangga beban yang besar di atasnya. Jika daya dukung tanah di lokasi tidak memungkinkan untuk menahan beban yang besar, pondasi semacam ini sangat diperlukan. Bentuk dari pondasi yang umum dipakai sebagai penyangga bangunan adalah pondasi tiang. Bahan dasar pondasi tiang yang umumnya dipakai adalah kayu, beton, baja, dan komposit. Jenis-jenis pondasi beton dapat berupa pondasi *precast-prestressed* dan pondasi *cast-in-place*.

Pondasi precast dan pondasi tiang dari baja dan komposit umumnya disebut sebagai pondasi tiang pancang karena pondasi ini dipancangkan pada suatu titik di atas permukaan dimana akan dibangun suatu bangunan. Pemancangan tiang ini dilakukan dengan menggunakan alat pancang khusus. Pada penggunaan pondasi jenis *cast-in-place* biasanya yang pertama dilakukan adalah melakukan pengeboran yang kemudian dilanjutkan dengan pengecoran beton.

2. ALAT PEMANCANG TIANG

Ada beberapa jenis alat pemancang tiang yang umum digunakan dalam proyek konstruksi. Palu atau *hammer* yang berfungsi sebagai alat tiang pancang tersebut adalah:

1. *Drop hammer,*
2. *Diesel hammer* (pemancang diesel),
3. *Hydraulic hammer* (pemancang hidrolis),
4. *Vibratory pile driver* (pemancangan dengan getaran).

2.1. Drop Hammer

Drop hammer merupakan palu berat yang diletakkan pada ketinggian tertentu di atas tiang. Palu tersebut kemudian dilepaskan dan jatuh mengenai

bagian atas tiang yang kepala tiang. Untuk menghindari tiang menjadi rusak akibat tumbukan ini, maka pada kepala tiang dipasangkan semacam topi atau *cap* sebagai penahan energi atau *shock absorber*. Biasanya cap dibuat dari kayu.

Palu dijatuhkan sepanjang alurnya. Pada bagian atas palu terdapat kabel yang berfungsi untuk menahan supaya palu tidak jatuh lebih jauh. Ukuran umum palu berkisar antara 250 sampai 1500 kg. Tinggi jatuh palu berkisar antara 1,5 sampai 7 meter yang tergantung dari jenis bahan dasar pondasi. Jika diperlukan energi yang besar untuk memancangkan tiang pondasi maka sebaiknya menggunakan palu yang berat dengan tinggi jatuh yang kecil daripada palu yang lebih ringan dengan tinggi jatuh yang besar.

Gambar 10.1. *Drop Hammer*
(Sumber: *http://www.canterbury.gov.uk/images/coastal*)

Pemancangan tiang biasanya dilakukan secara perlahan. Jumlah jatuhnya palu per menit (*blow per minute*) dibatasi pada empat sampai delapan kali. Jika jumlah tiang yang akan dipancang tidak banyak maka jenis alat pancang ini efisien untuk digunakan. Keuntungan dari alat ini adalah:

a. Investasi yang rendah.
b. Mudah dalam pengoperasian.
c. Mudah dalam mengatur energi per blow dengan mengatur tinggi jatuh.

Akan tetapi alat ini pun memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan dari alat ini adalah:

a. Kecepatan pemancangan yang kecil.
b. Kemungkinan rusaknya tiang akibat tinggi jatuh yang besar.
c. Kemungkinan rusaknya bangunan di sekitar lokasi akibat getaran pada permukaan tanah
d. Tidak dapat digunakan untuk pekerjaan di bawah air.

2.2. Diesel Hammer

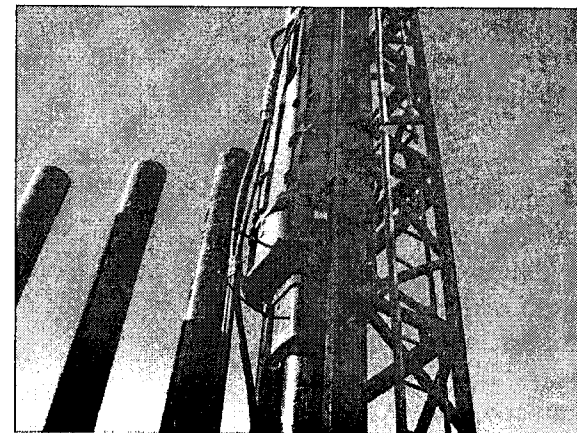
Alat pemancang tiang tipe ini berbentuk lebih sederhana dibandingkan dengan hammer lainnya. Diesel hammer memiliki satu silinder dengan dua mesin diesel, piston atau ram, tangki bahan bakar, tangki pelumas, pompa bahan bakar, *injector*, dan mesin pelumas. Dalam pengoperasiannya, energi alat didapat dari berat ram yang menekan udara di dalam silinder.

Diesel hammer terdiri dari dua jenis yaitu terbuka dan tertutup. Jenis alat yang bagian ujungnya terbuka mampu melakukan 40 sampai 55 blow per menit. Dalam pengoperasiannya, energi alat didapat dari berat ram yang menekan udara dalam silinder. Alat yang bagian ujungnya tertutup dapat menghasilkan blow 75 sampai 85 per menit.

Terdapat kelebihan dan kekurangan dalam pemakaian diesel hammer dibandingkan dengan jenis alat pemancang lainnya. Kelebihan diesel hammer adalah:

a. Ekonomis dalam pemakaian,
b. Tidak diperlukannya energi luar dalam pengoperasiannya,
c. Mudah dalam pemakaian di daerah terpencil,
d. Berfungsi dengan baik pada daerah dingin,
e. Mudah dalam perawatan.

Akan tetapi alat ini memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan dari alat ini antara lain adalah:

a. Kesulitan dalam menentukan energi per blow.
b. Sulit dipakai pada tanah lunak.

Gambar 10.2. *Diesel Hammer*
(Sumber: *http://lancastercomposite.net*)

2.3. Hydraulic Hammer

Cara kerja hammer ini adalah berdasarkan perbedaan tekanan pada cairan hidrolis. Salah satu hammer tipe ini dimanfaatkan untuk memancangkan pondasi tiang baja H dan pondasi lempengan baja dengan cara dicengkeram, didorong dan ditarik. Dengan menggunakan alat pemancang ini tekanan terhadap pondasi dapat mencapai 140 ton. Selain itu getaran dan polusi suara akibat pemakaian alat ini dapat dikurangi. Alat ini baik digunakan jika ada keterbatasan daerah operasi karena tiang pancang yang dimasukkan cukup pendek. Untuk memperpanjang tiang maka dilakukan penyambungan pada ujung-ujungnya.

2.4. Vibratory Pile Driver

Alat ini sangat baik dimanfaatkan pada tanah lembab. Jika material di lokasi berupa pasir kering maka pekerjaan menjadi lebih sulit karena material tersebut tidak terpengaruh dengan adanya getaran yang dihasilkan oleh alat. Vibratory pile driver memiliki beberapa batang horisontal dengan beban eksentris. Pada saat pasangan batang berputar dengan arah yang berlawanan, berat yang disebabkan oleh beban eksentris menghasilkan getaran pada alat. Getaran yang dihasilkan menyebabkan material di sekitar pondasi yang terikat pada alat ikut bergetar. Pada pengoperasian dengan menggunakan alat ini biasanya *lead* atau pengatur letak tiang tidak digunakan dengan demikian maka biasanya alat ini dipasangkan pada crane dengan ukuran yang kecil. Tenaga yang diperlukan untuk penggetaran alat dihasilkan dari tenaga listrik atau tenaga hidrolis.

Gambar 10.3. *Vibratory Pile Driver*
(Sumber: *http://pz27.pilebuckinternational.com/images*)

Efektivitas penggunaan alat ini tergantung pada beberapa faktor yaitu amplitudo, momen eksentrisitas, frekuensi, berat bagian bergetar, dan berat lain tidak bergetar. Amplitudo adalah gerakan vertikal alat pada saat bergetar yang dihitung dalam milimeter. Dengan diketahuinya momen eksentrisitas maka ukuran alat dapat diketahui. Nilai momen eksentrisitas merupakan hasil perkalian dari berat eksentris dikalikan dengan jarak antara pusat rotasi dengan titik pusat gravitasi eksentris. Frekuensi adalah banyaknya gerakan vertikal alat per menit. Karena pengaruh jenis tanah, frekuensi alat pada tanah liat lebih kecil daripada jika alat digunakan pada tanah berpasir. Yang dimaksud dengan bagian bergetar adalah tiang, kepala alat, dan selubung alat. Sedangkan bagian alat yang tidak ikut bergetar adalah motor penggerak dan mekanisme suspensi.

3. PENAHAN DAN PENGATUR LETAK TIANG

Terdapat beberapa alat yang digunakan untuk mengatur letak tiang sehingga kekeliruan seperti tiang miring, tiang tidak pada tempatnya dapat dihindari. Alat tersebut dinamakan *lead* atau bingkai. Bingkai ini terbuat dari baja.

Posisi alat ini ada pada ujung *boom*. *Lead* yang umum dipakai adalah *fixed lead*, *swing lead*, dan *hydraulic lead*. Dengan adanya *lead* ini maka *hammer* menumbuk tiang tepat di tengah-tengah permukaan atas tiang. Biasanya *lead* digunakan pada pemancangan tiang dengan menggunakan *drop hammer* dan *single acting hammer*. Hal ini perlu dilakukan agar tidak timbul masalah pemancangan seperti kesalahan posisi dan kemiringan.

3.1. Fixed Lead

Pengaturan posisi tiang dengan cara ini menggunakan *lead* yang terdiri dari rangkaian baja dengan tiga sisi berkisi seperti *boom* pada *crane* dan sisi yang satu terbuka. Sisi yang terbuka adalah tempat tiang diletakkan. Pada rangkaian ini terdapat rel atau alur tempat *hammer* akan bergerak. Pada saat penumbukan tiang, *lead* diletakkan dengan kemiringan tertentu. *Lead* diikat pada alat pemancang tiang, dengan bagian bawahnya disambungkan dengan *crane* atau pelat pemancang sehingga posisi tiang menjadi benar.

3.2. Swing Lead

Jika *lead* tidak disambungkan dengan *crane* atau pelat pemancang pada bagian bawahnya maka *lead* jenis ini dinamakan *swing lead*. Penggunaan lead ini memungkinkan pemancangan tiang yang jaraknya dari badan alat relatif jauh. Kelemahan dari tipe ini adalah sulitnya mengatur tiang untuk tetap vertikal.

3.3. Hydraulic Lead

Sistem yang digunakan pada metode ini adalah dengan menggunakan silinder hidrolis sebagai pengatur. Silinder hidrolis tersebut merupakan penghubung bagian bawah lead dengan pemancang. Dengan sistem ini pengaturan posisi tiang dapat dilakukan secara lebih akurat dan cepat. Metode ini lebih mahal dibandingkan dengan *fixed lead*, namun dengan

produktivitas yang besar maka penggunaan metode ini menjadi bahan pertimbangan yang baik. Lebih-lebih jika alat sering dipakai.

4. PEMILIHAN CRANE PENGANGKAT ALAT PEMANCANG TIANG

Semua alat ini mempunyai bagian utama yaitu alat penggerak dan *crane* dengan *lattice boom*. Pemilihan *crane* pemasang tiang perlu memperhatikan beberapa beban yang akan dipikul alat. Selain berat tiang pancang dan palu, *crane* juga harus mampu memikul beban *lead*. Kapasitas *crane* yang dipilih harus cukup kuat untuk menahan beban maksimum pada suatu radius operasional tertentu.

Crane juga dipilih berdasarkan faktor lain seperti jangkauan vertikal dan horisontal. Berdasarkan jangkauan vertikalnya, *crane* yang dipilih harus mempunyai *boom* yang cukup panjang untuk mengakomodasikan tiang pancang yang panjang, tinggi cap dan tinggi alat pemancang. Jika dilihat dari jangkauan horisontalnya, *crane* harus mampu menahan beban pada suatu radius tertentu. Seperti diketahui semakin jauh jangkauan crane maka kapasitas semakin kecil. Jadi perlu dicek terlebih dahulu kapasitas *crane* terhadap pemancangan tiang pada suatu jarak tertentu.

5. PEMILIHAN ALAT PEMANCANG TIANG

Dalam pemilihan alat pemancang tiang yang akan digunakan dalam suatu proyek, terdapat beberapa kriteria pemilihan. Kriteria-kriteria tersebut antara lain:

1. Jenis material, ukuran, berat, dan panjang tiang yang akan dipancang.
2. Bagaimana kondisi lapangan yang mempengaruhi pengoperasian, seperti pemancangan di bawah air atau lokasi terbatas.
3. *Hammer* yang akan dipilih harus sesuai dengan daya dukung tiang dan kedalaman pemancangan.
4. Pilihlah alat yang paling ekonomis dengan kemampuan alat yang sesuai dengan yang dibutuhkan.
5. Jika lead digunakan maka pilihlah tipe yang sesuai, ukuran rel untuk *hammer*, panjang *hammer* dan tiang yang akan dipancang.

6. PERHITUNGAN PEMANCANGAN TIANG

Perhitungan daya dukung tiang pancang tergantung dari tiga faktor yang saling terkait yaitu jenis tanah, alat pemancang tiang dan tiang itu sendiri. Selama pemancangan berlangsung, ketiga faktor di atas harus diperhatikan dan pada saat tiang sudah selesai dipancang maka faktor alat tidak menjadi pertimbangan lagi. Jadi, dalam menghitung daya dukung tiang pancang maka yang perlu diperhatikan adalah kekuatan tiang pada saat pemancangan dan kekuatan tiang untuk memikul beban bangunan di atasnya.

Perhitungan daya dukung tiang pancang dihitung dengan menggunakan rumus tertentu. Untuk setiap jenis *hammer* maka digunakan rumus yang berbeda. Jika alat pemancang tiangnya adalah *diesel hammer* maka daya dukung tiang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$R = \frac{2E}{S+K} \times \frac{W}{W+P} \times \frac{1}{SF} \qquad (10.1)$$

Pada rumus di atas, R adalah daya dukung tiang (ton), W adalah berat massa yang dijatuhkan (ton), K adalah perpendekan elastis total dari kepala tiang, tiang dan tanah, E total energi alat pancang (ton-cm), S penetrasi pukulan terakhir (cm), P berat tiang pancang, dan SF adalah faktor keamanan (diambil 3 atau 4).

7. PELAKSANAAN PEMANCANGAN TIANG

Pada pelaksanaan pemancangan tiang, selain kondisi alat pemancang, kondisi tiang pun perlu diperhatikan. Tiang sebaiknya lurus dengan permukaan rat dan tidak retak. Untuk itu pada saat penanganan tiang perlu dilakukan secara hati-hati. Penanganan tiang pada saat dibawa ke lokasi proyek, ditumpuk di proyek dan pada saat diangkat ke titik pemancangan harus dilakukan dengan aturan tertentu.

Tiang yang akan dipancang, mula-mula diberi bantalan dan *cap* sebagai pengaman dari keretakan akibat tumbukan. Kemudian tiang diangkat sampai pada posisi sejajar dengan *lead*. Tumbukan pertama dilakukan secara perlahan untuk memastikan bahwa tiang sudah tepat pada posisinya dan *water level*. Bila posisi sudah benar maka tumbukan dapat dilanjutkan sampai tiang masuk ke dalam tanah dan mencapai tanah keras atau sampai perlu dilakukan penambahan tiang. Perlu diperhatikan bahwa jumlah tumbukan tidak terlalu banyak untuk menghindari terjadinya keretakan pada tiang. Jika bantalan dan *cap* sudah rusak sebelum tumbukan selesai maka perlu dilakukan penggantian sebelum tumbukan dilanjutkan.

BAB XI
ALAT PEMROSES AGREGAT DAN PENGANGKUTANNYA

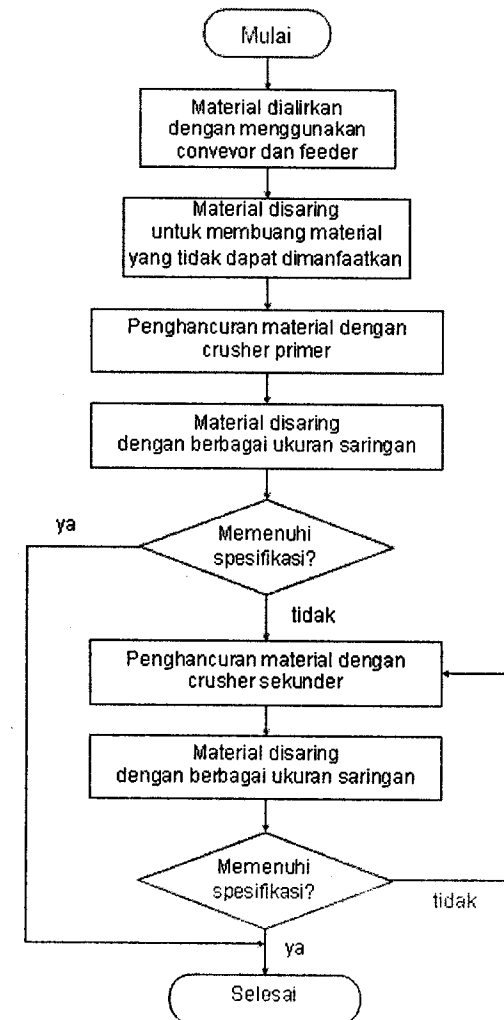
1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan agregat dalam proyek konstruksi sangatlah luas. Salah satu pemanfaatan agregat adalah sebagai bahan dasar pembuat beton dan campuran aspal. Selain itu juga digunakan dalam pembuatan jalan, seperti pada dasar jalan atau pada permukaan pengerasan jalan. Agregat yang diambil dari alam dapat berupa pasir, kerikil atau batuan. Kadang batuan dari alam berukuran besar sehingga perlu dilakukan pengolahan terhadap batuan tersebut sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Guna mendapatkan kerikil atau batuan pecah yang sesuai dengan ukuran yang diharapkan maka diperlukan suatu alat untuk memotong material. Alat pemecah batuan yang digunakan adalah *crusher.*

Crusher berfungsi untuk memecahkan batuan alam menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Selain memecahkan batuan, *crusher* juga memisahkan batuan hasil pemecahan dengan menggunakan saringan atau *screen*. Dengan adanya *screen* maka batuan dapat dikelompokan sesuai dengan ukurannya. Untuk memasukkan batuan ke dalam *crusher*, biasanya digunakan alat yang disebut *feeder*. Untuk mendistribusikan agregat hasil pemecahan dan mengantarkan kembali agregat yang belum memenuhi spesifikasi ke dalam crusher maka digunakan conveyor dalam alur kerja *crusher.*

2. CRUSHER

Crusher terdiri dari beberapa bagian, yaitu crusher primer (*primary crusher*), crusher sekunder (*secondary crusher*), dan crusher tersier (*tertiary crusher*). Setelah batuan diledakkan, batuan dimasukkan ke dalam crusher primer. Hasil dari cusher primer dimasukkan ke dalam crusher sekunder untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Bila hasil crusher sekunder belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan maka batuan diolah kembali di cusher tersier dan seterusnya.

Crusher dibagi juga berdasarkan cara alat tersebut dalam memecahkan batuan. *Crusher* yang memecahkan batuan dengan memberikan tekanan pada batuan adalah *jaw*, *gyratory*, dan *roll* crusher. *Impact crusher* menghancurkan batuan dengan tumbukan pada kecepatan yang tinggi. Pada umumnya jaw crusher digunakan sebagai crusher primer, sedangkan crusher tipe lainnya dimanfaatkan sebagai crusher sekunder. Pengoperasian crusher ini dapat dilihat pada Gambar 11.1 yang merupakan urutan pekerjaan yang dilakukan oleh crusher dalam mengolah batuan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

Gambar 11.1. *Diagram Aliran Material pada Crusher*

Pada saat batuan masuk ke dalam crusher maka terjadi reduksi ukuran batuan tersebut. Reduksi tersebut ditetapkan dalam rasio reduksi. Pada *jaw crusher*, rasio didapat dari jarak crusher di bagian atas dibagi jarak bukaan di bagian bawah. Sedangkan pada *roller crusher*, rasio didapat dari ukuran batuan terbesar yang melewati crusher dibagi ukuran bukaan *crusher*. Rasio reduksi dapat dilihat pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1. Jenis Crusher Beserta Rasio Reduksinya

Tipe Crusher	Rasio Reduksi
Jaw	4:1 – 9:1
Gyratory	
True	3:1 – 10:1
Cone (standard)	4:1 – 6:1
Roll	
Single roll	Maksimum 7:1
Double roll	Maksimum 3:1
Impact	Sampai 15:1

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Dari pengalaman dalam industri crusher didapat hasil bahwa pada setiap pengaturan bukaan tertentu, 15% dari batuan yang melewati bukaan tersebut mempunyai ukuran lebih besar dari bukaan. Dengan demikian, batuan yang dihasilkan dari *crusher* dan kemudian disaring maka 15% dari batuan tidak akan lolos saringan.

2.1. Jaw Crusher

Cara kerja alat ini adalah dengan menggerakkan salah satu jepit sementara jepit yang lainnya diam. Tenaga yang dihasilkan oleh bagian yang bergerak mampu menghasilkan tenaga untuk menghancurkan batuan yang keras. Bagian terlemah dari *crusher* ini adalah *toggle* yang dapat rusak jika mengenai benda yang tidak dapat dihancurkan atau mengalami kelebihan kapasitasnya. Bagian atas *jaw crusher* sebaiknya minimal 5 cm lebih besar dari batuan terbesar yang akan dihancurkan.

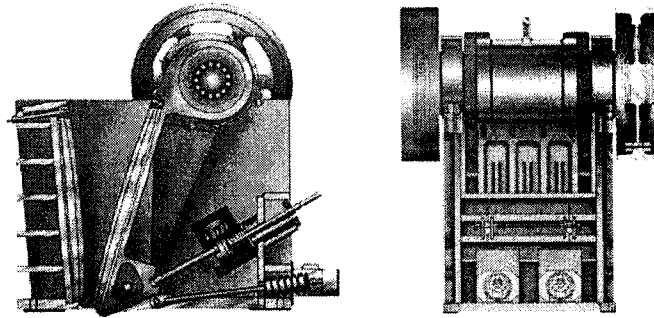
Kapasitas *jaw crusher* ditentukan oleh ukuran *crusher*-nya. Tabel 11.2 memberikan kapasitas *crusher* dengan tipe Blake berdasarkan ukuran bukaannya dan ukuran *crusher*. Sedangkan pada tabel 11.3 memberikan persentase batuan yang melewati atau tertahan saringan dengan ukuran tertentu.

Tabel 11.2. Kapasitas Jaw Crusher (ton/jam)

Ukuran Crusher (mm)	Ukuran bukaan bawah crusher (mm)						
	25	38	51	64	76	102	127
254'406	10	14	18				
254'508	12	18	23	31			
381'610		24	31	38	45		
381'766		30	39	48	56		
245'891		42	55	69	84	113	
610'916			69	86	103	136	
762'1068				113	136	181	226
916'1068				127	145	181	226
916'1220				136	158	202	249
1068'1220				149	172	226	272
1220'1542					200	254	309
1422'1832						286	345

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)
Keterangan: pada kolom pertama, angka pertama merupakan lebar bukaan feeder (mm) sedangkan angka kedua merupakan lebar lempengan jaw (mm)

Tabel 11.3. Gradasi Hasil Jaw Crusher (persentase lewat)

Ukuran Saringan (mm)	Ukuran bukaan bawah crusher (mm)						
	25	38	51	64	76	102	127
127							85
114							77
102						85	69
89						75	
76					85	66	54
70					79		
64				85	73	56	46
57				78	66		
51			85	69	59	46	38
44			76	62	51		
38		85	66	54	46	37	31
32		72	56	46	39		
25	85	59	46	37	33	26	21
19	66	46	36	31	26		
16	56	39	31				
13	46	33	26	22	19	16	13
10	36	26	26	18			
6	26	19	16	13	11		
3	16	11	10	8			
1,6	9	6					

Gambar 11.2. *Jaw Crusher*
(Sumber: *http://www.lippmann-milwaukee.com*)

2.2. Roll Crusher

Roll crusher digunakan sebagai *crusher* sekunder atau tersier setelah batuan melewati *crusher* tipe lain yang berfungsi sebagai crusher primer. *Roll crusher* terdiri dari *single roll* dan *double roll. Single roll* biasanya digunakan untuk memecahkan batuan yang lembab dan tidak menguntungkan jika digunakan untuk memecahkan batuan yang abrasif.

Gambar 11.3. *Single Roll Crusher*
(Sumber: *http://www.penncrusher.com/images/imagelib/content*)

Ukuran maksimum material yang masuk ke dalam *roll crusher* tergantung pada diameter roll atau roda. Ukuran batuan yang terlalu besar akan terlempar keluar sebelum masuk diantara roda. Ukuran maksimum batuan yang dapat lewat di antara 2 roda ditentukan dengan rumus:

$$A = 0{,}085R + C \qquad (11.1)$$

R adalah jari-jari roda dan *C* adalah ukuran batuan hasil dari *crusher* yang diinginkan.

Kapasitas *roll crusher* tergantung pada jenis batuan, ukuran crusher primer, ukuran batuan yang inginkan, lebar roda, dan kecepatan roda berputar. Tabel 11.4 memberikan kapasitas *roll crusher* dalam ton/jam yang dapat digunakan dalam mengestimasi kapasitas yang sebenarnya dari *roll crusher*.

Tabel 11.4. Kapasitas Roll Crusher (ton/jam)

Ukuran Crusher (mm)	Ukuran bukaan crusher (mm)						
	6	13	19	25	38	51	64
414'416	13,6	27,2	36,2	49,7	77,0	104,0	127,0
610'416	13,6	27,2	36,2	49,7	77,0	104,0	127,0
763'456	13,6	27,2	40,7	59,0	86,0	113,1	140,0
763'558	18,1	36,2	49,7	67,9	104,0	140,0	172,0
1016'508	18,1	31,7	45,2	63,4	95,0	122,0	158,5
1016'610	18,1	36,2	54,3	77,0	113,1	149,5	190,0
1374'610	21,7	43,5	64,3	86,0	130,0	173,8	217,5

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)
Keterangan: pada kolom pertama, angka pertama merupakan diameter roll sedangkan angka kedua merupakan ketebalan roll

Tabel 11.5. Gradasi Hasil Roll Crusher (persentase lewat)

Ukuran Saringan (mm)	Ukuran bukaan crusher (mm)						
	6	13	19	25	38	51	64
64							85
57							78
51						85	69
44						76	62
38					85	66	54
32					72	56	46
25				85	59	46	37
19			85	66	46	36	31
16			72	56	39	31	
13		85	59	46	33	26	22
10		67	46	36	26	26	18
8		56	39				
6	85	46	33	26	19	16	13
5	66	37	26				
3	46	26	19	16	11	10	8
1,6	26	16	11	9	6		

Contoh 11.1:

Jaw crusher sebagai *crusher* primer dan *roll crusher* sebagai crusher sekunder digunakan untuk memecahkan batuan. Dari kedua alat diharapkan dicapai produksi 120 ton/jam. Dari *quarry* diketahui bahwa ukuran batuan terbesar adalah 40 cm. Hasil dari *crusher* akan digunakan di suatu proyek dengan spesifikasi

Lewat (mm)	Tertahan (mm)	Persentase
51		100
32	51	30 – 36
19	32	20 – 25
0	19	42 – 50

Jawab:

Dengan bukaan pada *jaw crusher* sebesar 64 mm maka rasio reduksi batuan akan menjadi 6,25:1 (memenuhi syarat). Dari Tabel 11.2 diketahui bahwa *jaw crusher* dengan ukuran 916 x 1068 mm mampu untuk memproduksi batuan sebanyak 127 ton/jam. Berdasarkan Tabel 11.3 maka distribusi batuan menjadi:

Ukuran batuan (mm)	Persen melewati saringan	Persen tertahan	Total keluaran crusher (ton/jam)	Jumlah total tertahan (ton/jam)
> 51	100 - 69	31	120	37,2
51-32	69 - 46	23	120	27,6
32-19	46 - 31	15	120	18,0
19-0	31 - 0	31	120	37,2
		100		120

Ukuran terbesar batuan yang akan memasuki *roll crusher* adalah 64 mm. Jika diambil ukuran bukaan *crusher* adalah 51 mm maka dengan menggunakan rumus 11.1 didapat jari-jari *roll* adalah:

A = 0,085 R + C
64 = 0,085 R + 51
R = 152,9 mm

Dengan menggunakan Tabel 11.4 maka dimensi roll crusher adalah 414 mm ´ 416 mm dengan kapasitas 104 ton/jam untuk bukaan 51 mm.

Dengan mengasumsikan bahwa 15% dari total batuan yang masuk ke dalam *roll crusher* adalah batuan hasil olahan yang kedua dan 85%-nya merupakan batuan dari *jaw crusher* sehingga total batuan yang masuk dinotasikan dengan Q maka:

$$Q = \frac{\text{Batuan baru dari jaw crusher}}{0{,}85}$$

$$Q = \frac{37{,}2}{0{,}85} = 43{,}8 \text{ton/jam}$$

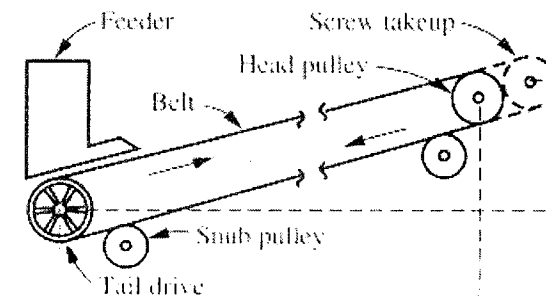
Dengan demikian ukuran *roll crusher* yang dipilih akan sangat mudah beroperasi karena kapasitasnya yang jauh lebih besar daripada batuan yang masuk. Distribusi dari batuan itu pada *roll crusher* adalah:

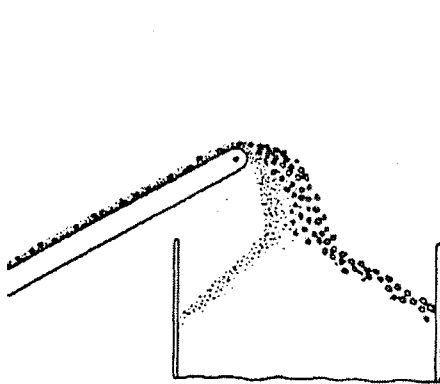
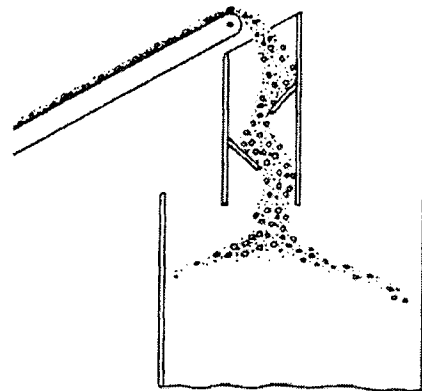
Ukuran batuan (mm)	Persen melewati saringan	Persen tertahan	Total keluaran crusher (ton/jam)	Jumlah total tertahan (ton/jam)
51-32	85 - 56	29	43,8	12,7
32-19	56 - 36	20	43,8	8,7
19-0	36 - 0	36	43,8	15,8
		85		37,2

Kombinasi hasil dari kedua crusher adalah:

Ukuran batuan (mm)	Hasil dari Jaw crusher (ton/jam)	Hasil dari Roll crusher (ton/jam)	Jumlah berdasarkan ukuran (ton/jam)	Persen sesuai ukuran
51-32	27,6	12,7	40,3	33,58
32-19	18,0	8,7	26,7	22,25
19-0	37,2	15,8	53	44,17
	82,8	37,2	120	100

3. CONVEYOR BELT

Belt conveyor merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan tanah, pasir, kerikil batuan pecah beton, dan lain-lain. Kapasitas pemindahan material oleh *belt conveyor* cukup tinggi karena material dipindahkan secara terus-menerus dalam kecepatan yang relatif tinggi. Bagian dari *belt conveyor* adalah *belt* atau ban berjalan, *idler*, unit pengendali, *pulley*, dan struktur penahan. Jika material yang akan dipindahkan memiliki jarak perpindahan yang relatif pendek maka *portable conveyor* dapat digunakan.

Gambar 11.4. *Skema belt conveyor*
(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Dalam pengoperasian *belt conveyor*, seringkali material yang diangkut dan dilepaskan di ujung akhir *conveyor* mengalami segregasi atau pemisahan ukuran. Untuk menghindari hal ini maka *Peurifoy* (1996) menyarankan pada ujung *conveyor* material jangan dijatuhkan secara bebas. Jadi dapat digunakan alat tambahan yang dapat berupa *rock ladder* untuk menghindari segregasi. Selain itu juga tinggi jatuh material sebaiknya jangan terlalu besar.

Gambar 11.5.
Segregasi yang Terjadi di Ujung Conveyor
(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Gambar 11.6.
Metode untuk Menghindari Segregasi
(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

3.1. Belt

Belt terdiri dari beberapa lembar (*ply*) bahan yang disatukan dengan semacam perekat. Jumlah lapisan dapat 4, 6, 7, 8, dan seterusnya, sedangkan berat setiap lapisan adalah 28, 32, 36, 42, oz dan seterusnya. Bagian permukaan *belt* ditutupi oleh karet yang berfungsi untuk menghindari terjadinya abrasi akibat gesekan material.

3.2. Kapasitas Belt

Berat material yang dapat dipindahkan oleh *belt conveyor* ditentukan dengan menggunakan rumus berikut ini:

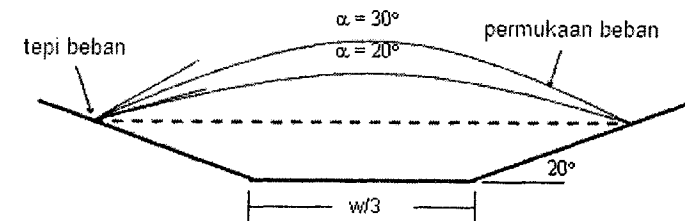
$$T = \frac{60ASW}{2000} \qquad (11.2)$$

T berat material yang dihitung dalam ton/jam, *A* potongan luas area material (sq ft), *S* kecepatan ban (ft/menit), dan *W* berat jenis material (lb/cft).

Luas area material tergantung dari lebar *belt*, kedalaman material, sudut kemiringan material (*angle of repose*), lebar ban yang memuat material. Gambar 11.7 menunjukkan potongan luas area material. Material yang diangkut sebaiknya diletakkan di tengah dan sisi terpinggir tidak boleh kurang dari 0,05 *w* + 1 in. Tabel 11.6 merupakan potongan luas area material dengan lebar ban dan sudut kemiringan yang berbeda.

Tabel 11.6. Potongan Luas Area Material dengan Lebar Ban dan Sudut Kemiringan yang Berbeda

Lebar belt (in)	0,05w+1 (in)	Luas rata beban (ft²)	Luas tambahan (ft²) untuk sudut kemiringan			Luas total (ft²) untuk sudut kemiringan		
			10°	20°	30°	10°	20°	30°
16	1,8	0,072	0,029	0,059	0,090	0,101	0,131	0,162
18	1,9	0,096	0,038	0,078	0,118	0,134	0,174	0,214
20	2,0	0,122	0,048	0,098	0,150	0,170	0,220	0,272
24	2,2	0,185	0,072	0,146	0,225	0,257	0,331	0,410
30	2,5	0,303	0,118	0,238	0,365	0,421	0,541	0,668
36	2,8	0,450	0,174	0,351	0,540	0,624	0,801	0,990
42	3,1	0,627	0,241	0,488	0,749	0,868	1,115	1,376
48	3,4	0,833	0,321	0,649	0,992	1,154	1,482	1,825
54	3,7	1,068	0,408	0,826	1,264	1,476	1,894	2,332
60	4,0	1,333	0,510	1,027	1,575	1,843	2,360	2,908

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Gambar 11.7. *Potongan Luas Area Material*

Tabel 11.7 memberikan kapasitas angkut *conveyor* (ton/jam) pada lebar yang berbeda untuk kecepatan 100 fpm (*feet per minute*). Tabel 11.8 berisi kecepatan maksimum *conveyor* yang tergantung pada jenis material dan lebar ban.

Tabel 11.7. Kapasitas Angkut Conveyor (ton/jam) pada Lebar yang Berbeda Untuk Kecepatan 100 fpm

Lebar belt (in)	Berat material (lb/cft)								
	30	50	90	100	125	150	160	180	200
14	9	15	28	31	39	46	49	56	62
16	13	21	38	42	52	63	67	75	83
18	16	27	48	54	67	81	86	97	107
20	20	33	60	67	83	100	107	120	133
24	30	50	90	100	125	150	160	180	200
30	47	79	142	158	197	236	252	284	315
36	80	117	210	234	292	351	374	421	467
42	100	167	300	333	417	500	534	600	667
48	138	230	414	460	575	690	736	828	920
54	178	297	534	593	741	890	948	1070	1190
60	222	369	644	738	922	1110	1180	1330	1480

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

Tabel 11.8. Kecepatan maksimum conveyor (fpm) yang tergantung pada jenis material dan lebar belt

Jenis dan kondisi material	Lebar belt (in)										
	14	16	18	20	24	30	36	42	48	54	60
Batubara, kerikil, batu berukuran tidak seragam, abu dan material sejenis	300	300	350	350	400	450	500	550	600	600	600
Batubara, arang berukuran seragam dan material yang dapat dipecahkan	250	250	250	300	300	350	350	400	400	400	400
Pasir kering dan basah	400	400	500	600	600	700	800	800	800	800	800
Material abrasif halus	250	250	300	400	400	500	500	500	500	500	500
Batu besar dan material abrasif besar	-	-	-	-	350	350	400	400	400	400	400

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

3.3. Idler

Idler adalah alat yang menahan ban. *Idler* bagian atas (*troughing idler*) yang menahan beban berbentuk trapesium sepertiga lebar di bagian tengah rata dengan kedua bagian sisi yang miring, sedangkan *idler* bagian bawah (*return idler*) berbentuk rata.

Untuk menentukan daya angkut *belt coveyor* maka tenaga yang diperlukan oleh *idler* untuk bergerak perlu ditetapkan. Tenaga tersebut tergantung dari tipe dan ukuran idler, berat bagian yang berputar, berat ban, dan berat material. *Idler* yang dilengkapi dengan anti friksi memiliki faktor friksi yang tercantum pada Tabel 11.9.

Tabel 11.9. Faktor friksi

Diameter idler	4 in	5 in	6 in	7 in
Faktor friksi	0,0375	0,036	0,030	0,025

(Sumber: *Construction Planning, Equipment and Methods*, 1996)

3.4. Tenaga untuk Menggerakkan Belt

Sejumlah tenaga luar dibutuhkan untuk menggerakan sebuah *conveyor belt*. Tenaga itu diperlukan untuk menggerakan *belt* dalam keadaan kosong, memindahkan beban secata horisontal serta mengangkat atau menurunkan beban secara vertikal. Ketiga tenaga tersebut kemudian dijumlahkan untuk mengetahui tenaga total yang dibutuhkan.

Tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakan *belt* kosong tergantung dari tipe idler, diameter dan jarak antar *idler*, serta panjang, berat, dan kecepatan *belt*. Energi yang dibutuhkan ditentukan dengan rumus:

$$E = LSQC \qquad (11.3)$$

E energi (ft-lb/menit), L panjang belt (ft), S kecepatan belt (fpm), C faktor friksi (dari tabel) dan Q berat bagian yang bergerak untuk setiap 1 ft conveyor. Jika rumus di atas dihitung dalam *horsepower* maka rumus tersebut diturunkan menjadi:

$$P_k = \frac{LSCQ}{33000} \qquad (11.4)$$

Sedangkan tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakan beban secara horisontal didasarkan atas rumus:

$$P_h = \frac{LSCW}{33000} \qquad (11.5)$$

W berat beban (lb) pada setiap 1 ft belt. Jika berat beban yang dipindahkan dihitung dengan satuan ton/jam maka rumus di atas menjadi:

$$P_h = \frac{LCT}{990} \qquad (11.6)$$

T berat material yang dipindahkan per jam (ton/jam).

Untuk menaikkan dan menurunkan beban secara vertikal tenaga yang dibutuhkan adalah tenaga untuk menggerakan ke elevasi yang dituju. Rumus yang digunakan untuk menghitung tenaga agar material sampai di elevasi yang dituju adalah:

$$P_v = \frac{TH}{990} \qquad (11.7)$$

H adalah ketinggian elevasi yang dituju (ft).

Dengan demikian maka jumlah tenaga yang dibutuhkan untuk pemindahan material adalah:

$$P = P_k + P_h \pm P_v \qquad (11.8)$$

Jika material yang diangkut akan diturunkan maka P_v merupakan pengurangan sedangkan jika material akan dinaikkan ke suatu elevasi tertentu maka P_v dijumlahkan.

3.5. Feeder

Feeder yang diletakkan di bagian awal sebuah sistem *conveyor* berfungsi untuk mengatur agar material yang diletakkan di atas *belt* seragam dalam jumlah. Ada beberapa macam *feeder* yang umum digunakan, antara lain *apron*, *reciprocating*, *rotary vane*, dan *rotary plow*.

Contoh 11.2:

Belt dengan lebar 36 in dipakai untuk mengangkut pasir kering dengan berat jenis 100 lb/ft^3. Sudut kemiringan material 20°. Panjang *conveyor* 400 ft dengan *idler* berdiameter 5 in dengan berat per *foot* adalah 26 lb. Hitung tenaga yang diperlukan untuk memindahkan material ke elevasi 5 ft lebih tinggi dari ujung awal *conveyor*.

Jawab:

Dari tabel 1.1 diketahui A 0,801 ft^2
Dari tabel 1.3 diketahui S 800 fpm
Dari tabel 1.2 diketahui T 234 ton/jam (untuk kecepatan 100 fpm), sehingga T = 8 x 234 = 1872 ton/jam

Untuk menggerakkan belt kosong:
Dari tabel 1.5 diketahui C = 0,036
Diketahui Q = 26 lb/ft

$$P_k = \frac{LSCQ}{33000} = \frac{400 \times 800 \times 0{,}036 \times 26}{33000} = 9{,}08hp$$

Untuk menggerakkan *conveyor* secara horisontal:

$$P_h = \frac{LCT}{990} = \frac{400 \times 0{,}036 \times 1872}{990} = 27{,}23hp$$

Untuk menggerakkan *conveyor* secara vertikal:

$$P_v = \frac{TH}{990} = \frac{1872 \times 5}{990} = 9{,}45hp$$

Total tenaga adalah
P = Pk + Ph + Pv = 9,08 +27,23 + 9,45 = 45,76 hp

BAB XII ALAT PEMROSES BETON DAN ASPAL

1. PENDAHULUAN

Pada hampir semua proyek konstruksi, beton dimanfaatkan sebagai bahan bangunan. Untuk bangunan seperti gedung dan jembatan, beton digunakan sebagai salah satu bahan pembuat balok, kolom ataupun pelat. Dinding yang merupakan dinding pracetak juga mempunyai bahan dasar beton. Pipa-pipa yang besar seperti yang digunakan dalam pembuatan saluran juga menggunakan beton sebagai bahan dasar. Selain itu, beton dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengerasan jalan.

Campuran aspal yang terdiri dari aspal, *agregat* dan pengisi (*filler*) juga merupakan bahan yang dipakai pada proyek konstruksi khususnya proyek jalan. Campuran aspal dimanfaatkan sebagai lapisan atas jalan, baik itu jalan raya maupun jalan biasa. Pada pembuatan jembatan, campuran aspal digunakan sebagai lapisan permukaan pelat.

2. ALAT PEMROSES BETON

Beton merupakan campuran dari semen, *agregat* dan air. Campuran semen dan air disebut dengan pasta. *Agregat* yang digunakan untuk membuat beton adalah *agregat* halus dan *agregat* kasar. Kadang-kadang pada campuran tersebut ditambahkan bahan aditif yang mempunyai fungsi khusus seperti *plasticizer* yang berfungsi untuk mempermudah pelaksanaan, *retarder* yang berfungsi untuk memperlambat pengerasan atau *setting and hardening accelerator* untuk mempercepat penguatan beton. Setelah semua bahan beton tersebut menjadi satu maka campuran tersebut ditempatkan pada suatu cetakan untuk kemudian dibiarkan sampai mengeras. Campuran beton yang normal mengandung ¾ bagian agregat dan ¼ bagian pasta berdasarkan volume dengan rasio air-semen berkisar antara 0,4 – 0,7 berdasarkan berat.

Pekerjaan dalam pembuatan beton meliputi:

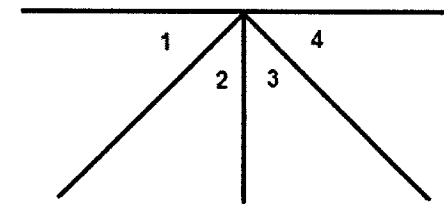
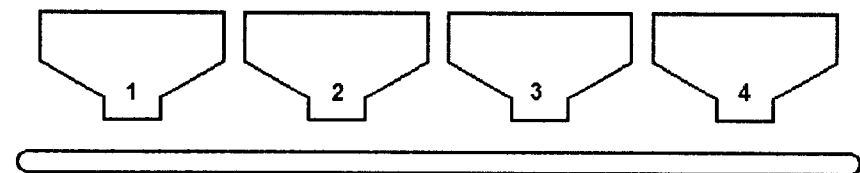
a. Pengukuran berat setiap komponen beton,
b. Pencampuran bahan beton,
c. Pemindahan campuran beton,
d. Penempatan,
e. Konsolidasi,
f. Pengeringan.

Agar mencapai hasil yang baik campuran beton harus memenuhi beberapa kriteria, seperti kemudahan untuk dicampurkan dan dipindahkan, seragam, tidak mengalami segregasi, dan memenuhi seluruh cetakan.

Dalam memproduksikan beton secara masal peralatan untuk membuat beton sangat diperlukan. Pengadaan alat untuk membuat beton dilakukan agar produktivitas dapat ditingkatkan sehingga hasil beton per jam menjadi lebih besar. Selain itu juga keseragaman hasil dapat dipertahankan. Peralatan yang biasanya dipakai dalam proses pembuatan beton sampai beton tersebut ditempatkan adalah:

a. Peralatan pencampur beton,
b. Peralatan pemindahan campuran beton,
c. Peralatan pengecoran.

2.1. Pencampuran Beton

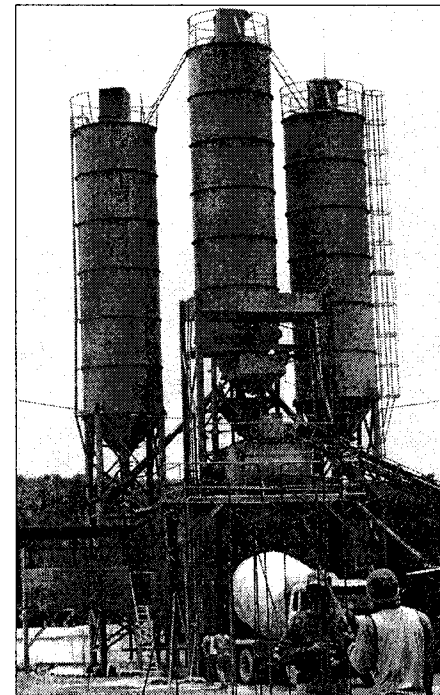
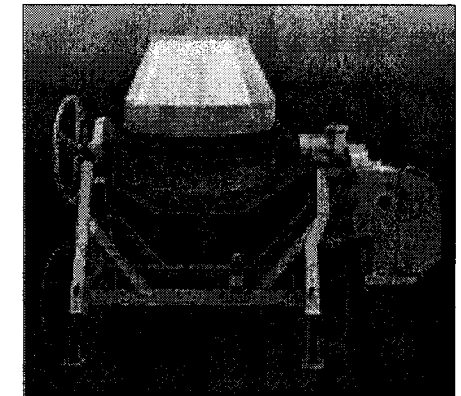
Agregat pada *batching plant* diletakkan pada *staple material* atau *storage bin*. *Staple* material merupakan tempat penyimpanan agregat dimana setiap jenis material dipisahkan oleh dinding. Sedangkan *storage bin* merupakan bak-bak penampungan material dengan pintu pada bagian bawah. Skema kedua jenis penyimpanan material dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.

Gambar 12.1. *Skema Staple Material*

Gambar 12.2. *Skema Storage Bin*

Baik pada *storage bin* maupun pada *staple* material, agregat dipisahkan menjadi empat bagian, yaitu butir kasar (*split*), butir menengah, butir halus, dan pasir. Sedangkan semen diletakkan pada suatu tabung yang disebut *cement silo*. Tabung ini tertutup rapat sehingga semen dalam keadaan tetap kering.

Pada saat pencampuran, agregat dikeluarkan dari pintu pada bagian bawah *storage bin*. Sedangkan *batching plant* yang menggunakan staple material sebagai pemisah agregat, agregat dipindahkan dengan menggunakan dragline. Agregat dari storage bin maupun dari staple material kemudian ditakar dengan menggunakan timbangan. Semen juga dikeluarkan dari silo dari pintu pada bagian bawah tabung dan ditakar. Penakaran ini bertujuan agar diperoleh proporsi setiap bahan sesuai dengan yang diinginkan guna mencapai kekuatan beton tertentu.

Agregat dan semen yang telah ditakar kemudian dicampurkan dalam *batcher* yang berbentuk tabung. Hasil dari pencampuran ini bisa tetap disimpan dalam *batcher* atau dipindahkan ke dalam *mixer* untuk pencampuran selanjutnya dengan air. Batcher juga berfungsi sebagai mixer jika pada tabung tersebut air juga dicampurkan. Air yang dicampurkan sebelumnya ditakar dengan menggunakan timbangan atau *flow meter*.

Batcher dapat berupa batcher yang ditempatkan dalam proyek dan *batching plant* atau pabrik penakaran beton. Untuk proyek yang besar dimana kebutuhan beton sangat banyak maka biasanya sebuah batcher dibangun di dalam lokasi proyek. Batcher seperti itu juga biasanya digunakan bila proyek berlokasi di suatu tempat terpecil. Batcher yang terdapat di proyek biasanya juga berfungsi sebagai mixer. *Batching plant* biasanya berukuran lebih besar dari batcher di proyek. Batching plant merupakan suatu kesatuan yang terdiri dari beberapa unit agregat dan semen. Proses yang dilakukan dalam batching plant dapat secara manual, semi otomatis atau otomatis. Output dari batching plant biasanya diangkut ke proyek dengan menggunakan *ready-mixed concrete truck* atau dipindahkan ke dalam *mixing plant* atau pabrik pencampuran beton. Kapasitas dari batching plant biasanya tiga kali lebih besar dari kapasitas mixing plant.

Seperti yang telah dijelaskan, mixer terdiri dari *ready-mixed concrete truck* atau yang lebih sering disebut dengan *truck mixer* dan *mixing plant*. Mixing plant dapat berupa plant yang dapat dipindahkan dan plant statis. Mixing plant biasanya terletak bersebelahan dengan batching plant. Selain itu juga ada mixer kecil yang sering digunakan untuk proyek rumah. Mixer seperti ini disebut dengan molen atau drum miring (*tilting drum*) yang kemiringannya dapat diatur sehingga bahan-bahan beton dapat dimasukkan dan beton dikeluarkan dengan mudah. Kapasitas mixer berkisar antara 0,1 m³ sampai dengan 9,2 m³.

Gambar 12.3. *Concrete Batching Plant*

Gambar 12.4. *Tilting Drum*
(Sumber: *http://www.topall.cc/images*)

2.2. Pemindahan Beton

Ada bermacam-macam alat yang dapat digunakan untuk mengangkut beton menuju lokasi. Yang termasuk alat pengangkut beton adalah truck mixer, truck agitator, conveyor, pompa, dan crane yang dilengkapi dengan bucket.

2.2.1. Truck Mixer dan Agitator

Truck mixer selain mempunyai kemampuan untuk mengaduk beton juga mempunyai kelebihan karena dapat mengangkut beton hasil pengadukan ke lokasi yang diinginkan. Metode kerja alat ini adalah pertama dengan memasukkan agregat, semen dan bahan aditif yang telah tercampur dari batching plant ke dalam drum yang terletak di atas truk. Air ditambahkan pada saat pengadukan akan dimulai.

Alat ini juga dapat digunakan sebagai *agitator truck* yang mengangkut hasil adukan dari mixing plant ke proyek. Beton yang diangkut

disebut sebagai beton plastis. Sebagai agitator, alat ini memiliki kapasitas yang lebih besar (berkisar 3 kali lebih besar) dibandingkan jika alat berfungsi sebagai mixer. Kapasitas mixer berkisar antara 4,6 m^3 sampai lebih dari 11,5 m^3.

Gambar 12.5. *Truk Mixer*
(Sumber: *http://www.concretemixers.com*)

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkutan beton. Yang pertama adalah segregasi. Segregasi dapat terjadi pada saat pengangkutan beton plastis. Untuk menghindari segregasi maka tinggi jatuh beton pada saat dikeluarkan dari atau dimasukkan ke dalam drum mixer harus lebih kecil dari 1,5 m, kecuali jika menggunakan pipa. Faktor lainnya yaitu jarak tempuh pengangkutan.

2.2.2. Pompa Beton

Pada saat beton tiba di proyek beton tersebut dicor ke dalam cetakan. Untuk memudahkan pengecoran, salah satu caranya adalah dengan menggunakan pompa. Penggunaan pompa beton pada masa sekarang bukan merupakan barang baru. Pada awalnya pompa beton digunakan untuk menyalurkan beton ke dalam terowongan.

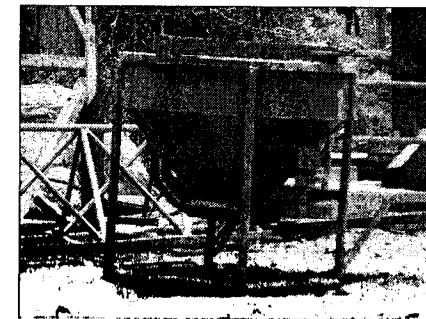
Beton disalurkan ke dalam cetakan dengan menggunakan pipa. Pipa ini dapat diletakkan secara horisontal, vertikal atau miring. Agar pemompaan beton ini berhasil maka beton yang disalurkan oleh pompa harus seragam dan konsisten. Pompa tersedia dalam berbagai ukuran sesuai dengan kebutuhan. Pompa diletakkan di atas truck. Untuk mencapai elevasi pengecoran tertentu maka alat ini dilengkapi oleh pengatur mekanis.

Pompa beton terdiri dari dua macam yaitu *truck mounted concrete pump* dan *portable mast and boom*. Metode penghantaran yang dipakai

Gambar 12.6. *Pompa Beton*
(Sumber: *http://www.putzmeister.co.uk/images*)

adalah metode hidrolis. Kemampuan alat ini dapat menghantar beton sampai dengan 120m^3/jam. Produktivitas alat dapat dikurangi dengan memperkecil diameter pipa. Jarak hantar beton secara horisontal dapat mencapai sejauh maksimal 300m sedangkan secara vertikal mencapai sejauh maksimal 100m. Pembelokan pipa dapat mengurangi kemampuan hantar.

2.2.3. Bucket Crane

Alat lain yang digunakan dalam pengecoran adalah crane yang dilengkapi dengan bucket. Bucket ini tersedia dalam berbagai ukuran. Beton dimasukkan ke dalam bucket melalui bagian atas bucket. Di bagian bawah bucket terdapat pintu untuk mengeluarkan beton ke dalam cetakan.

Gambar 12.7. *Bucket Beton*

2.3. Pengecoran Beton

Setelah beton plastis dituangkan ke dalam cetakan baik dengan menggunakan bucket maupun melalui pipa, beton tersebut kemudian dikonsolidasikan dan diratakan. Sebelum hal tersebut dilakukan cetakan harus dalam keadaan bersih, disangga dengan baik, dan kuat. Selain itu untuk memudahkan pembukaan cetakan setelah beton mengeras sebaiknya permukaan dalam cetakan dilapisi semacam minyak.

Untuk mengurangi rongga dalam beton, setelah beton dicor maka dilakukan konsolidasi. Konsolidasi ini dapat dilakukan dengan cara menusuk dengan menggunakan batang atau sekop. Selain dengan cara manual, konsolidasi dapat dilakukan dengan menggunakan getaran. Getaran di dapat dengan alat penggetar mekanis yang dimasukkan ke dalam beton plastis secara vertikal sampai permukaan dasar cetakan atau dengan cetakan yang bergetar. Akan tetapi penggetaran ini tidak boleh terlalu lama karena dapat menyebabkan segregasi. Dalam proses pengecoran segregasi harus dihindari.

Setelah proses konsolidasi maka permukaan beton diratakan dan dibiarkan mengering. Pada saat beton mengering, suhu dan kelembaban pada permukaan beton harus dijaga. Hal ini dilakukan untuk menghindari beton retak. Proses ini dilakukan dengan cara memberi penutup yang basah langsung di atas beton, daerah pengeringan ditutupi, atau menyemprotkan air di permukaan beton.

2.4. Produktivitas Mixer

Untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan maka yang pertama dilakukan adalah menghitung volume masing-masing campuran bahan beton. Hasil dari penghitungan tersebut disebut dengan *mix design*. Volume dari setiap komponen beton tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Vol = \frac{massa}{1000 \times BJ} \qquad (12.1)$$

Volume yang dinotasikan dengan satuan m^3, didapat dari membagi massa (kg) dengan berat jenis material atau BJ (gram/cm^3) dikalikan 1000. Dalam menghitung volume agregat maka agregat harus dalam kondisi basah permukaan atau SSD (*surface saturated dry*). Dengan demikian volume air yang dihitung tidak lebih ataupun kurang.

Setelah itu dengan mengetahui kapasitas dari mixer maka dapat diketahui produktivitas alat tersebut. Rumus yang digunakan untuk menghitung produktivitas mixer adalah:

$$Prod = \frac{60 \times V \times E}{T} \qquad (12.2)$$

Produktivitas dinotasikan dengan m^3/jam, V (m^3) merupakan volume *batch*, E adalah efisiensi dan T adalah waktu siklus.

Contoh 12.1:

Sebuah *mix design* memerlukan komponen beton sebagai berikut:

Komponen	Berat Jenis	Jumlah (kg)
Semen	3,15	238
Pasir (SSD)	2,65	652
Kerikil (SSD)	2,66	837
Air	1,00	147

a. Tentukan volume beton plastis yang dihasilkan.
b. Tentukan berat sebenarnya jika ternyata pasir mengandung 4% kelebihan kandungan air.
c. Berdasarkan data soal b, tentukan berat komponen lain bila 3 sak semen digunakan dan volume campuran tersebut.

Jawab:

$$Vol.semen = \frac{238}{1000 \times 3{,}15} = 0{,}076 m^3$$

$$Vol.pasir = \frac{652}{1000 \times 2{,}65} = 0{,}246 m^3$$

$$Vol.kerikil = \frac{873}{1000 \times 2{,}66} = 0{,}315 m^3$$

$$Vol.air = \frac{147}{1000 \times 1{,}00} = 0{,}147 m^3$$

Maka volume beton plastis dari campuran di atas adalah:

Vol.campuran = 0,076 + 0,246 + 0,315 + 0,147
= 0,784 m^3

Kelebihan air pada pasir sebanyak = 652 x 0,04
= 26 kg

Mix design akan berubah menjadi:

Berat air = 147 – 26
= 121 kg

Berat pasir = 652 +26
= 678 kg

Jika semen yang digunakan 3 sak maka berat komponen yang lain adalah:

semen = 3 x 42,6
= 127,8 kg

$$pasir = \frac{127,8}{238} \times 678 = 364 \text{ kg}$$

$$kerikil = \frac{127,8}{238} \times 837 = 449 \text{ kg}$$

$$air = \frac{127,8}{238} \times 121 = 65 \text{ kg}$$

$$vol.campuran = \frac{127,8}{238} \times 0,784 = 0,421 \text{ m}^3$$

3. ALAT PEMROSES ASPAL

Aspal sebagian besar digunakan sebagai bahan pengerasan jalan. Jenis pengerasan yang menggunakan aspal disebut pengerasan lentur (*flexible pavement*). Hal ini karena karakteristik dari aspal yang plastis. Fungsi dari pengerasan aspal adalah untuk mendapatkan permukaan jalan yang baik dan melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air.

Pengerasan aspal merupakan campuran dari aspal dan agregat (*mix asphalt*). Kandungan agregat dalam campuran berkisar 90 sampai 95% berdasarkan berat. Agregat yang dipakai pada campuran ini adalah agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Filler merupakan agregat yang sangat halus yang berfungsi sebagai pengisi. Bahan yang termasuk dalam filler adalah abu batu dan semen. Karakteristik agregat yang harus dipenuhi adalah keras, bersudut, bergradasi baik, bersih, dan kering. Hal ini bertujuan agar ikatan pada campuran menghasilkan kekuatan yang baik. Agregat yang mempunyai permukaan halus dan berbentuk bulat dapat mengurangi kekuatan campuran dan menyebabkan permukaan yang licin.

Fungsi dari aspal pada campuran aspal adalah sebagai pengikat (*binder*) antar agregat. Aspal mengisi rongga antar agregat dan rongga dalam agregat. Aspal yang masih padat disebut dengan *asphalt cement*. Dalam penggunaannya asphalt cement tersebut harus dipanaskan agar meleleh. Campuran antara *asphalt cement* dengan bahan minyak bumi disebut dengan *asphalt cutback*. Asphalt cutback ini berbentuk cairan dalam suhu ruangan. Bentuk lain dari aspal adalah *asphalt emulsion*. Keunggulan dari aspal jenis ini adalah tidak menimbulkan api dan dapat dituangkan ke atas agregat yang basah.

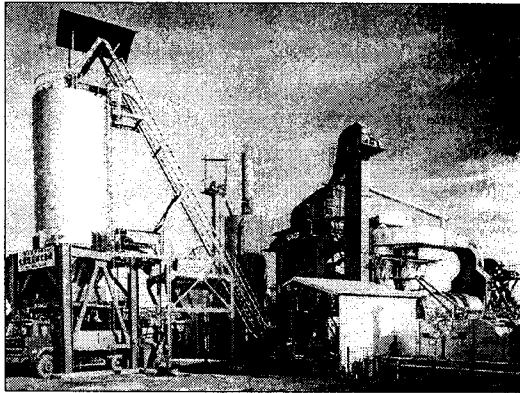
Campuran aspal yang benar dan berkekuatan sesuai dengan yang diinginkan dapat dihitung. Hasil dari perhitungan tersebut disebut sebagai *asphalt mix design*. Kriteria dari asphalt mix design yang harus dipenuhi adalah:

1. *Stabil:* stabilitas dari aspal ditentukan oleh friksi internal dan kohesi. Bentuk agregat akan mempengaruhi friksi internal, sedangkan binder akan mempengaruhi kohesitas campuran aspal.
2. *Tahan lama:* yang dimaksud dengan tahan lama adalah ketahanan campuran terhadap oksidasi, agregat yang saling berpisah dan memisahnya binder dari agregat. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah aspal dalam campuran dan gradasi agregat.
3. *Kedap air:* pengerasan aspal harus kedap terhadap air dan udara. Kekedapan terhadap air dan udara dapat dicapai dengan melakukan pemadatan dan membuat mix design yang baik.
4. *Fleksibel:* fleksibilitas yang baik dicapai jika pengerasan dapat berubah jika terjadi gerakan minor selama umur pengerasan.
5. *Tidak menyebabkan selip:* permukaan pengerasan aspal diharapkan dapat menghindari terjadinya selip pada roda kendaraan yang lewat di atasnya.
6. *Tidak mengalami kelelahan bahan:* dengan lewatnya kendaraan di atas pengerasan secara terus menerus maka dapat mengakibatkan kelelahan bahan. Kelelahan bahan dipengaruhi oleh rongga antar partikel dan fiskositas binder.
7. *Mudah dikerjakan:* campuran aspal yang dihasilkan sebaiknya dapat dengan mudah dituangkan dan dipadatkan dengan mudah.

3.1. Asphalt Plant

Alat yang memproses aspal disebut dengan *asphalt plant*. *Asphalt plant* merupakan tempat dimana campuran aspal diaduk, dipanaskan, dan dicampur. Ada dua macam asphalt plant yang sering digunakan yaitu *batch plant* dan *drum mix plant*. Komponen lain yang digunakan dalam pencampuran aspal adalah tempat penyimpan aspal dan silo.

3.1.1. Batch Plant

Ada beberapa komponen dari batch plant, yaitu *cold feed system* atau cold bin, *drum dryer* (drum pengering), *hot elevator* (elevator panas), *screen* (saringan), *hot bin* (penampungan), dan *pugmill mixer*. Fungsi dari cold bin adalah untuk tempat penyimpanan agregat dan mengatur aliran agregat pada saat pencampuran. Alat ini terdapat pada batch plant maupun drum mix plant. Alat ini mempunyai beberapa tempat penyimpanan seperti storage bin (lihat Gambar 12.2). Beberapa jenis cold bin mempunyai saringan di bagian pintu yang berfungsi untuk menyaring agregat yang tidak sesuai ukurannya.

Gambar 12.8. *Asphalt Mixing Plant*
(Sumber: *Brosur Tanaka*)

Drum dryer berfungsi sebagai pemanas dan pengering agregat. Suhu agregat dapat mempengaruhi suhu campuran. Agregat yang terlalu panas menyebabkan aspal cepat membeku pada saat pencampuran. Sebaliknya jika agregat kurang panas maka agregat tidak dapat dilapisi dengan baik. *Drum dryer* bergerak berputar dan pada bagian dalamnya terdapat aliran gas yang berfungsi untuk mengeringkan agregat. Drum diletakkan miring dengan bagian ujung bawah terdapat pembakaran (*burner*). Agregat yang telah dikeringkan dan dipanaskan kemudian dituangkan ke atas hot elevator untuk dialirkan ke saringan.

Saringan (*screen*) digetarkan untuk mengayak agregat. Saringan berfungsi untuk mengatur gradasi agregat menjadi empat macam ukuran yang kemudian ditampung di empat bak penampungan (*hot bin*). Agregat yang ditampung dalam hot bin kemudian dituangkan ke dalam hopper untuk diukur beratnya. Hopper terletak di bawah hot bin dan di atas pugmill mixer. Agregat kasar dan halus yang telah diukur beratnya secara kumulatif kemudian ditambahkan filler, baru dijatuhkan ke dalam mixer. Aspal dipompakan ke dalam mixer dengan menggunakan semprotan (*spray bar*).

3.1.2. Drum Mix Plant

Setelah setiap jenis agregat diukur beratnya pada cold feed system maka agregat tersebut dialirkan ke drum mixer yang berotasi secara vertikal. Bersamaan dengan masuknya agregat ke dalam drum, gas panas dari pembakaran (*burner*) juga dialirkan. Pada bagian akhir drum, aspal dicampurkan ke dalam agregat dan kemudian diaduk.

3.1.3. Tempat Penyimpanan Aspal

Aspal yang digunakan untuk membuat campuran temperaturnya berkisar 150°C. untuk mempertahankan suhunya maka pada sistem yang dipakai harus terdapat pengatur suhu. Jika aspal yang dialirkan ke dalam sistem bersuhu rendah maka ada dua cara untuk meningkatkan temperaturnya, yaitu dengan proses pembakaran langsung atau dengan proses minyak panas. Pada proses pertama, ditempatkan pembakaran (*burner*) yang akan membakar aspal dalam tangki penyimpanan. Keuntungan cara ini adalah efisiensi suhu tinggi. Pada proses peningkatan suhu aspal dengan minyak panas dilakukan dalam dua tahap. Pertama minyak dipanaskan. Kemudian minyak tersebut didistribusikan ke dalam pipa pada tangki aspal.

3.1.4. Silo

Silo adalah silinder vertikal tempat penyimpanan campuran aspal dari mixer yang tertutup rapat. Hal ini untuk menghindari terjadinya oksidasi yang dapat mengakibatkan campuran menjadi keras.Campuran aspal dialirkan ke dalam silo melalui bagian atasnya dengan menggunakan conveyor tertutup. Pada bagian bawah terdapat pintu untuk mengeluarkan campuran aspal dan memasukkannya ke dalam truk. Dengan adanya alat ini maka proses pencampuran dapat terus dilakukan walaupun truk penerima campuran aspal tidak tersedia.

BAB XIII
ALAT PENGERASAN BETON DAN ASPAL

1. PENDAHULUAN

Pengerasan adalah landasan buatan. Pengerasan dibangun untuk sebagai bagian dari prasarana transportasi yang berfungsi untuk memikul beban, menjaga tanah dari kerusakan akibat air yang masuk, dan menjaga agar permukaan jalan tahan terhadap cuaca serta tetap memiliki traksi yang baik. Pengerasan dapat dibuat dalam beberapa cara tergantung material yang digunakan, namun material yang umum dipakai untuk pengerasan adalah beton dan aspal.

2. ALAT PENGERASAN BETON

Pada saat ini penggunaan beton untuk pengerasan sudah umum dilakukan. Pengerasan jalan yang menggunakan beton disebut pengerasan kaku (*rigid pavement*). Transportasi beton ke lokasi proyek dilakukan dengan menggunakan truk mixer atau agitator. Dari truk mixer ini, beton dapat langsung dihamparkan ke atas pengerasan. Akan tetapi dalam pelaksanaan penghamparan beton ini perlu diperhatikan agar beton tidak mengalami segregasi.

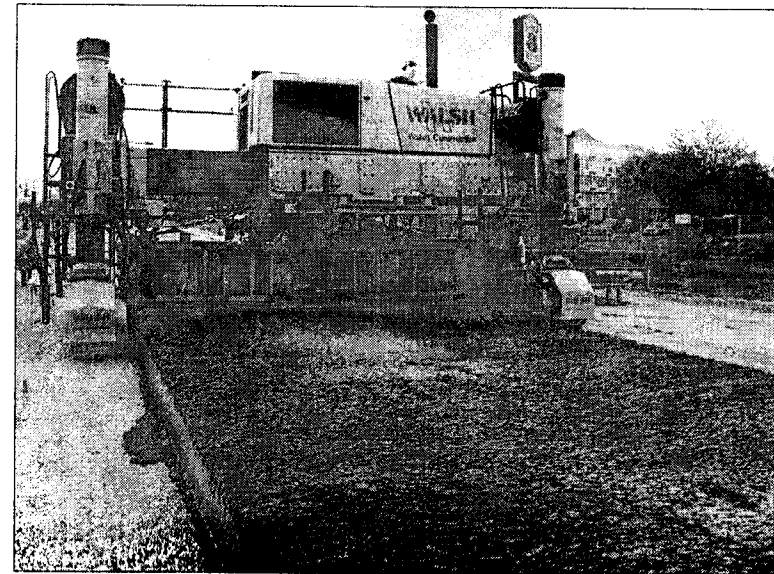
Sedangkan alat yang digunakan dalam pelaksanaan pengecoran beton untuk pengerasan kaku adalah:

a. *Paving mixer,*
b. *Concrete spreader,*
c. *Transverse concrete finisher,*
d. *Automatic curing machine,*
e. *Slipform paver.*

Paving mixer adalah alat pengaduk beton yang digunakan khusus untuk pengerasan. Alat ini dilengkapi dengan boom dan bucket untuk kemudahan dalam pengecoran. Drum pada paving mixer dapat berjumlah satu ataupun dua. Pada dual drum mixer pengadukan beton dilakukan secara bertahap. Setengah dari waktu yang dibutuhkan untuk pengadukan dilakukan pada drum pertama dan setengah waktu berikutnya pengadukan dilakukan pada drum kedua. Alat ini dapat berfungsi sebagai mixer pengangkut atau sebagai mixer statis. Produktivitas alat ini jika digunakan sebagai mixer pengangkut lebih kecil dari jika alat digunakan sebagai mixer statis yang mencapai 76,5 m^3.

Concrete spreader digunakan sebagai alat untuk menyebarkan beton plastis dalam pekerjaan pengerasan kaku dan kemudian menggetarkannya. Selama melakukan pekerjaan ini alat bergerak konstan. Beton plastis dimuat ke dalam concrete spreader dengan menggunakan *paving mixer* atau truk. Jika pengerasan jalan menggunakan tulangan maka alat ini bergerak di samping cetakan pengerasan untuk menghindari kerusakan tulangan. Penggunaan concrete spreader ini dapat mengurangi terjadinya segregasi.

Alat lain yang digunakan dalam pembuatan pengerasan beton adalah *transverse concrete mixer.* Alat ini berfungsi untuk meratakan dan membentuk permukaan beton sesuai dengan kemiringan yang diinginkan.

Automatic curing machine adalah alat penyemprot air pada pengerasan beton. Pada saat beton mulai mengering maka alat mesin curing otomatis digunakan untuk menyemprotkan air. Tujuan penyemprotan ini dilakukan adalah untuk menghindari beton retak karena pengeringan yang terlalu cepat.

Gambar 13.1. *Concrete Spreader*
(Sumber: *http://www.gomaco.com/resources/worldstories/world34_2/photos/walsh*)

Slipform paver mempunyai berbagai fungsi yaitu untuk menyebarkan beton, memadatkan dan menyelesaikan pekerjaan akhir pengerasan beton. Beton yang disebarkan dengan menggunakan slipform paver tidak memerlukan adanya cetakan dan dalam pengoperasiannya tidak mengganggu tulangan beton.

3. ALAT PENGERASAN ASPAL

Pengerasan jalan selain menggunakan beton juga dapat memanfaatkan aspal sebagai bahan pengerasan. Pengerasan yang menggunakan aspal disebut pengerasan lentur (*flexible pavement*). Pada saat membuat pengerasan dengan aspal alat yang dibutuhkan berbeda dengan pembuatan pengerasan beton.

Pengerasan aspal terdiri dari aspal dan agregat. Agregat yang dipakai dalam campuran aspal terdiri dari agregat kasar, halus dan filler. Filler adalah material pengisi yang dapat berupa abu batu atau semen. Karakteristik agregat yang dipakai pada pengerasan lentur adalah keras, bersudut, bergradasi baik, bersih dan kering. Dalam campuran aspal atau *mix asphalt*, aspal merupakan pengikat (*binder*).

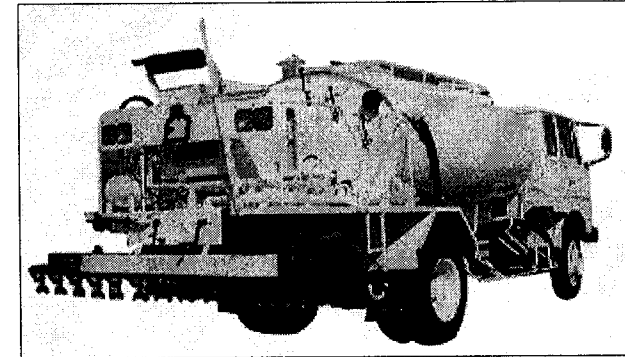
Selain truk yang digunakan untuk mengangkut aspal, dalam pelaksanaan pembangunan pengerasan lentur digunakan alat sebagai berikut:

a. *Asphalt distributor* (distributor aspal),
b. *Asphalt paver* atau *asphalt finisher*,
c. *Compactor* (pemadat).

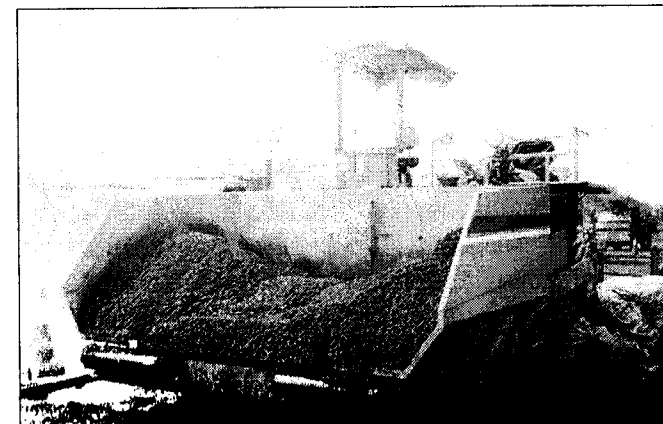
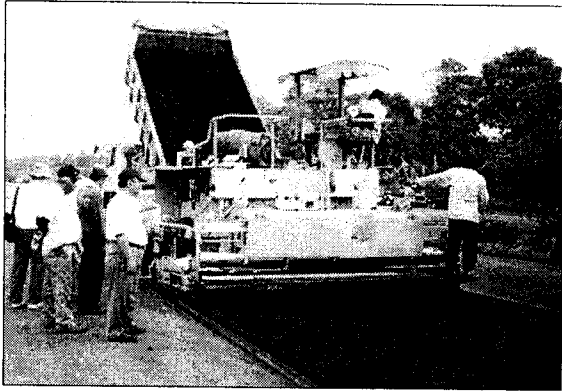
3.1. Distributor Aspal

Alat ini merupakan truk yang dimodifikasikan sesuai dengan fungsinya. Fungsi dari alat ini adalah untuk menghamparkan aspal cair ke atas permukaan pondasi jalan dengan kecepatan yang sama. Tangki pada distributor aspal mempunyai sistem yang dapat mempertahankan suhu aspal dan pada alat ini juga dilengkapi burner yang berfungsi untuk meningkatkan suhu aspal sesuai dengan ketentuan. Selain itu juga alat ini dilengkapi dengan pompa yang membantu dalam penyemprotan aspal cair. Aspal cair ini berfungsi untuk mengikat campuran aspal yang kemudian akan dihamparkan di atasnya.

Kecepatan distributor aspal (S, m/menit) yang bergerak selama penghamparan tergantung dari beberapa hal. Pertama adalah keluaran aspal dari pompa (P) yang dihitung dalam liter/menit. Kemudian lebar (W) alat penyemprot (*spry bar*) juga dihitung dalam meter. Selanjutnya adalah menghitung kecepatan penghamparan (R) dalam liter/meter persegi. Faktor-faktor tersebut diturunkan ke dalam rumus:

$$S = \frac{P}{W \times R} \tag{13.1}$$

Gambar 13.2. *Distributor Aspal*
(Sumber: *Brosur Sakai*)

3.2. Asphalt Paver

Alat ini merupakan traktor beroda ban ataupun crawler yang dilengkapi dengan suatu sistem yang berfungsi untuk menghamparkan campuran aspal di atas permukaan pondasi jalan. Paver dengan roda ban sebaiknya dipilih jika pada pengaspalan jalan alat tersebut sering dipindahkan. Sedangkan penggunaan paver dengan roda crawler akan lebih menguntungkan jika kondisi jalan yang akan dibangun menanjak atau menurun. Hal ini karena paver beroda crawler lebih stabil.

Gambar 13.3. *Asphalt Paver*

Gambar 13.4. *Proses Penghamparan Aspal*

Pada bagian depan terdapat hopper yang berfungsi untuk menerima campuran aspal dari *rear dump truck* atau dari *bottom dump truck*. Selanjutnya campuran aspal dihamparkan di atas permukaan pondasi jalan dengan menggunakan *conveyor* dan *auger*. Conveyor berfungsi untuk mendistribusikan campuran secara merata dan menghindari segregasi. Karena ketebalan aspal yang dihamparkan belum seragam maka digunakan *screed* yang ditarik oleh traktor tersebut. Screed dapat diatur lebar dan ketinggiannya. Dengan adanya screed maka ketebalan dan lebar hamparan campuran aspal dapat terjaga. Pada screed terdapat beberapa alat yaitu *vibrator* dan burner. Vibrator berfungsi untuk memadatkan lapisan aspal. Sedangkan burner berfungsi untuk memanaskan screed sehingga campuran aspal tidak menempel pada screed.

Kecepatan paver pada saat penghamparan harus dijaga agar konstan. Hal ini perlu dilakukan agar lapisan aspal yang dihasilkan rata permukaannya. Jika kecepatan bertambah maka screed akan menurun yang menyebabkan ketebalan lapisan berkurang. Hal yang sebaliknya akan terjadi jika kecepatan alat berkurang.

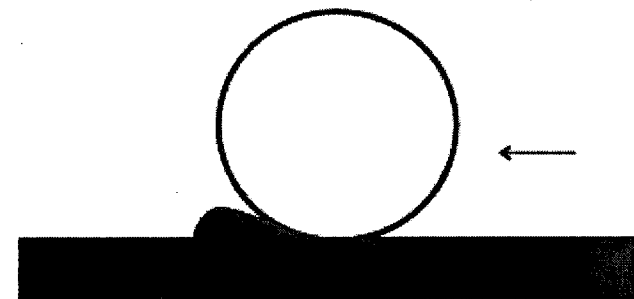
3.3. Pemadatan

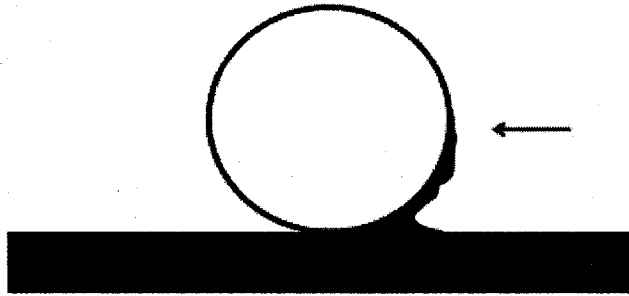
Pemadatan dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama, pemadatan yang dilakukan pada permukaan lapisan aspal untuk meningkatkan densitas lapisan. Selanjutnya, jika pada tahap pertama lapisan belum mencapai kepadatan yang diinginkan maka lapisan dipadatkan kembali. Tahap akhir pemadatan berfungsi untuk meratakan dan melicinkan permukaan. Campuran aspal yang dihamparkan pada saat pemadatan tidak boleh terlalu panas. Hal ini untuk menghindari lapisan menjadi pecah. Akan tetapi campuran juga tidak boleh terlalu dingin karena hal tersebut akan mempersulit pemadatan.

Terdapat tiga macam alat pemadat yang biasa digunakan sebagai alat pemadat aspal, yaitu *smooth-wheel roller, pneumatic-tired roller* dan *vibrating steel-drum roller*. Tekanan yang diberikan oleh *smooth-wheel roller* kepada permukaan aspal tergantung pada kecepatan alat. Sedangkan pengaturan tekanan yang akan didistribusikan oleh alat pneumatic-tired roller tergantung pada tekanan ban alat. Untuk *vibrating steel-drum roller* tekanan dapat diatur dengan mengubah frekuensi getaran. Dengan kemudahan dalam pengaturan tekanan alat pada permukaan aspal maka *pneumatic-tired roller* dan *vibrating steel-drum roller* dianggap lebih fleksibel dibandingkan dengan *smooth-wheel roller*.

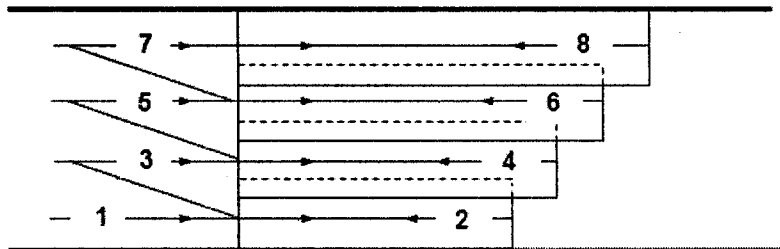
Pada umumnya alat pemadat mempunyai kelebihan masing-masing. Biasanya *smooth-wheel roller* digunakan untuk meratakan dan melicinkan permukaan. Sedangkan *pneumatic-tired roller* dan *vibrating steel-drum roller* digunakan untuk mendapatkan kepadatan. Jika getarannya dimatikan maka *vibrating steel-drum roller* dapat digunakan untuk meratakan dan melicinkan permukaan.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat pemadatan, yaitu:

1. Ada tidaknya kelebihan campuran aspal pada bagian depan roda (terutama untuk alat beroda drum baja). Kelebihan campuran aspal dapat disebabkan oleh kepadatan campuran yang masih kurang, temperatur campuran yang terlalu panas atau kapasitas alat yang terlalu besar.

Gambar 13.5. *Kelebihan Campuran Aspal di Depan Roda*

2. Menempel tidaknya aspal pada roda. Kadang-kadang aspal menempel pada roda alat pemadat yang disebabkan oleh suhu campuran yang terlalu tinggi.

Gambar 13.6. *Aspal yang Lengket pada Permukaan Roda*

3. Setelah aspal dipadatkan terjadi keretakan. Jika setelah pemadatan terjadi keretakan pada lapisan aspal maka kemungkinan yang terjadi adalah suhu campuran yang terlalu panas, mix design yang kurang baik, atau pemadatan yang terlalu berlebihan.

Pemadatan umumnya dilaksanakan setiap jarak 100 meter. Hal ini untuk menjaga agar suhu campuran aspal tetap panas pada saat pemadatan. Dengan demikian pemadatan dapat berlangsung dengan baik dan memberikan hasil permukaan jalan yang baik. Metode pemadatan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 13.7.

Gambar 13.7. *Proses Pemadatan*

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1
Tabel Suku Bunga

1. Suku Bunga = 1%

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,990099	0,990099	1,000000	1,010000	1,010000	1,000000
2	0,980296	1,970395	0,497512	0,507512	1,020100	2,010000
3	0,970590	2,940985	0,330022	0,340022	1,030301	3,030100
4	0,960980	3,901966	0,246281	0,256281	1,040604	4,060401
5	0,951466	4,853431	0,196040	0,206040	1,051010	5,101005
6	0,942045	5,795476	0,162548	0,172548	1,061520	6,152015
7	0,932718	6,728195	0,138628	0,148628	1,072135	7,213535
8	0,923483	7,651678	0,120690	0,130690	1,082857	8,285671
9	0,914340	8,566018	0,106740	0,116740	1,093685	9,368527
10	0,905287	9,471305	0,095582	0,105582	1,104622	10,462213
11	0,896324	10,367628	0,086454	0,096454	1,115668	11,566835
12	0,887449	11,255077	0,078849	0,088849	1,126825	12,682503
13	0,878663	12,133740	0,072415	0,082415	1,138093	13,809328
14	0,869963	13,003703	0,066901	0,076901	1,149474	14,947421
15	0,861349	13,865053	0,062124	0,072124	1,160969	16,096896
16	0,852821	14,717874	0,057945	0,067945	1,172579	17,257864
17	0,844377	15,562251	0,054258	0,064258	1,184304	18,430443
18	0,836017	16,398269	0,050982	0,060982	1,196147	19,614748
19	0,827740	17,226008	0,048052	0,058052	1,208109	20,810895
20	0,819544	18,045553	0,045415	0,055415	1,220190	22,019004
21	0,811430	18,856983	0,043031	0,053031	1,232392	23,239194
22	0,803396	19,660379	0,040864	0,050864	1,244716	24,471586
23	0,795442	20,455821	0,038886	0,048886	1,257163	25,716302
24	0,787566	21,243387	0,037073	0,047073	1,269735	26,973465
25	0,779768	22,023156	0,035407	0,045407	1,282432	28,243200
26	0,772048	22,795204	0,033869	0,043869	1,295256	29,525631
27	0,764404	23,559608	0,032446	0,042446	1,308209	30,820888
28	0,756836	24,316443	0,031124	0,041124	1,321291	32,129097
29	0,749342	25,065785	0,029895	0,039895	1,334504	33,450388
30	**0,741923**	**25,807708**	**0,028748**	**0,038748**	**1,347849**	**34,784892**

2. Suku Bunga = 5 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,952381	0,952381	1,000000	1,050000	1,050000	1,000000
2	0,907029	1,859410	0,487805	0,537805	1,102500	2,050000
3	0,863838	2,723248	0,317209	0,367209	1,157625	3,152500
4	0,822702	3,545951	0,232012	0,282012	1,215506	4,310125
5	0,783526	4,329477	0,180975	0,230975	1,276282	5,525631
6	0,746215	5,075692	0,147017	0,197017	1,340096	6,801913
7	0,710681	5,786373	0,122820	0,172820	1,407100	8,142008
8	0,676839	6,463213	0,104722	0,154722	1,477455	9,549109
9	0,644609	7,107822	0,090690	0,140690	1,551328	11,026564
10	0,613913	7,721735	0,079505	0,129505	1,628895	12,577893
11	0,584679	8,306414	0,070389	0,120389	1,710339	14,206787
12	0,556837	8,863252	0,062825	0,112825	1,795856	15,917127
13	0,530321	9,393573	0,056456	0,106456	1,885649	17,712983
14	0,505068	9,898641	0,051024	0,101024	1,979932	19,598632
15	0,481017	10,379658	0,046342	0,096342	2,078928	21,578564
16	0,458112	10,837770	0,042270	0,092270	2,182875	23,657492
17	0,436297	11,274066	0,038699	0,088699	2,292018	25,840366
18	0,415521	11,689587	0,035546	0,085546	2,406619	28,132385
19	0,395734	12,085321	0,032745	0,082745	2,526950	30,539004
20	0,376889	12,462210	0,030243	0,080243	2,653298	33,065954
21	0,358942	12,821153	0,027996	0,077996	2,785963	35,719252
22	0,341850	13,163003	0,025971	0,075971	2,925261	38,505214
23	0,325571	13,488574	0,024137	0,074137	3,071524	41,430475
24	0,310068	13,798642	0,022471	0,072471	3,225100	44,501999
25	0,295303	14,093945	0,020952	0,070952	3,386355	47,727099
26	0,281241	14,375185	0,019564	0,069564	3,555673	51,113454
27	0,267848	14,643034	0,018292	0,068292	3,733456	54,669126
28	0,255094	14,898127	0,017123	0,067123	3,920129	58,402583
29	0,242946	15,141074	0,016046	0,066046	4,116136	62,322712
30	**0,231377**	**15,372451**	**0,015051**	**0,065051**	**4,321942**	**66,438848**

3. Suku Bunga = 10 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,909091	0,909091	1,000000	1,100000	1,100000	1,000000
2	0,826446	1,735537	0,476190	0,576190	1,210000	2,100000
3	0,751315	2,486852	0,302115	0,402115	1,331000	3,310000
4	0,683013	3,169865	0,215471	0,315471	1,464100	4,641000
5	0,620921	3,790787	0,163797	0,263797	1,610510	6,105100
6	0,564474	4,355261	0,129607	0,229607	1,771561	7,715610
7	0,513158	4,868419	0,105405	0,205405	1,948717	9,487171
8	0,466507	5,334926	0,087444	0,187444	2,143589	11,435888
9	0,424098	5,759024	0,073641	0,173641	2,357948	13,579477
10	0,385543	6,144567	0,062745	0,162745	2,593742	15,937425
11	0,350494	6,495061	0,053963	0,153963	2,853117	18,531167
12	0,318631	6,813692	0,046763	0,146763	3,138428	21,384284
13	0,289664	7,103356	0,040779	0,140779	3,452271	24,522712
14	0,263331	7,366687	0,035746	0,135746	3,797498	27,974983
15	0,239392	7,606080	0,031474	0,131474	4,177248	31,772482
16	0,217629	7,823709	0,027817	0,127817	4,594973	35,949730
17	0,197845	8,021553	0,024664	0,124664	5,054470	40,544703
18	0,179859	8,201412	0,021930	0,121930	5,559917	45,599173
19	0,163508	8,364920	0,019547	0,119547	6,115909	51,159090
20	0,148644	8,513564	0,017460	0,117460	6,727500	57,274999
21	0,135131	8,648694	0,015624	0,115624	7,400250	64,002499
22	0,122846	8,771540	0,014005	0,114005	8,140275	71,402749
23	0,111678	8,883218	0,012572	0,112572	8,954302	79,543024
24	0,101526	8,984744	0,011300	0,111300	9,849733	88,497327
25	0,092296	9,077040	0,010168	0,110168	10,834706	98,347059
26	0,083905	9,160945	0,009159	0,109159	11,918177	109,181765
27	0,076278	9,237223	0,008258	0,108258	13,109994	121,099942
28	0,069343	9,306567	0,007451	0,107451	14,420994	134,209936
29	0,063039	9,369606	0,006728	0,106728	15,863093	148,630930
30	**0,057309**	**9,426914**	**0,006079**	**0,106079**	**17,449402**	**164,494023**

4. Suku Bunga = 15 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,869565	0,869565	1,000000	1,150000	1,150000	1,000000
2	0,756144	1,625709	0,465116	0,615116	1,322500	2,150000
3	0,657516	2,283225	0,287977	0,437977	1,520875	3,472500
4	0,571753	2,854978	0,200265	0,350265	1,749006	4,993375
5	0,497177	3,352155	0,148316	0,298316	2,011357	6,742381
6	0,432328	3,784483	0,114237	0,264237	2,313061	8,753738
7	0,375937	4,160420	0,090360	0,240360	2,660020	11,066799
8	0,326902	4,487322	0,072850	0,222850	3,059023	13,726819
9	0,284262	4,771584	0,059574	0,209574	3,517876	16,785842
10	0,247185	5,018769	0,049252	0,199252	4,045558	20,303718
11	0,214943	5,233712	0,041069	0,191069	4,652391	24,349276
12	0,186907	5,420619	0,034481	0,184481	5,350250	29,001667
13	0,162528	5,583147	0,029110	0,179110	6,152788	34,351917
14	0,141329	5,724476	0,024688	0,174688	7,075706	40,504705
15	0,122894	5,847370	0,021017	0,171017	8,137062	47,580411
16	0,106865	5,954235	0,017948	0,167948	9,357621	55,717472
17	0,092926	6,047161	0,015367	0,165367	10,761264	65,075093
18	0,080805	6,127966	0,013186	0,163186	12,375454	75,836357
19	0,070265	6,198231	0,011336	0,161336	14,231772	88,211811
20	0,061100	6,259331	0,009761	0,159761	16,366537	102,443583
21	0,053131	6,312462	0,008417	0,158417	18,821518	118,810120
22	0,046201	6,358663	0,007266	0,157266	21,644746	137,631638
23	0,040174	6,398837	0,006278	0,156278	24,891458	159,276384
24	0,034934	6,433771	0,005430	0,155430	28,625176	184,167841
25	0,030378	6,464149	0,004699	0,154699	32,918953	212,793017
26	0,026415	6,490564	0,004070	0,154070	37,856796	245,711970
27	0,022970	6,513534	0,003526	0,153526	43,535315	283,568766
28	0,019974	6,533508	0,003057	0,153057	50,065612	327,104080
29	0,017369	6,550877	0,002651	0,152651	57,575454	377,169693
30	**0,015103**	**6,565980**	**0,002300**	**0,152300**	**66,211772**	**434,745146**

5. Suku Bunga = 20 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,833333	0,833333	1,000000	1,200000	1,200000	1,000000
2	0,694444	1,527778	0,454545	0,654545	1,440000	2,200000
3	0,578704	2,106481	0,274725	0,474725	1,728000	3,640000
4	0,482253	2,588735	0,186289	0,386289	2,073600	5,368000
5	0,401878	2,990612	0,134380	0,334380	2,488320	7,441600
6	0,334898	3,325510	0,100706	0,300706	2,985984	9,929920
7	0,279082	3,604592	0,077424	0,277424	3,583181	12,915904
8	0,232568	3,837160	0,060609	0,260609	4,299817	16,499085
9	0,193807	4,030967	0,048079	0,248079	5,159780	20,798902
10	0,161506	4,192472	0,038523	0,238523	6,191736	25,958682
11	0,134588	4,327060	0,031104	0,231104	7,430084	32,150419
12	0,112157	4,439217	0,025265	0,225265	8,916100	39,580502
13	0,093464	4,532681	0,020620	0,220620	10,699321	48,496603
14	0,077887	4,610567	0,016893	0,216893	12,839185	59,195923
15	0,064905	4,675473	0,013882	0,213882	15,407022	72,035108
16	0,054088	4,729561	0,011436	0,211436	18,488426	87,442129
17	0,045073	4,774634	0,009440	0,209440	22,186111	105,930555
18	0,037561	4,812195	0,007805	0,207805	26,623333	128,116666
19	0,031301	4,843496	0,006462	0,206462	31,948000	154,740000
20	0,026084	4,869580	0,005357	0,205357	38,337600	186,688000
21	0,021737	4,891316	0,004444	0,204444	46,005120	225,025600
22	0,018114	4,909430	0,003690	0,203690	55,206144	271,030719
23	0,015095	4,924525	0,003065	0,203065	66,247373	326,236863
24	0,012579	4,937104	0,002548	0,202548	79,496847	392,484236
25	0,010483	4,947587	0,002119	0,202119	95,396217	471,981083
26	0,008735	4,956323	0,001762	0,201762	114,475460	567,377300
27	0,007280	4,963602	0,001467	0,201467	137,370552	681,852760
28	0,006066	4,969668	0,001221	0,201221	164,844662	819,223312
29	0,005055	4,974724	0,001016	0,201016	197,813595	984,067974
30	**0,004213**	**4,978936**	**0,000846**	**0,200846**	**237,376314**	**1181,88156**

6. Suku Bunga = 25 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,800000	0,800000	1,000000	1,250000	1,250000	1,000000
2	0,640000	1,440000	0,444444	0,694444	1,562500	2,250000
3	0,512000	1,952000	0,262295	0,512295	1,953125	3,812500
4	0,409600	2,361600	0,173442	0,423442	2,441406	5,765625
5	0,327680	2,689280	0,121847	0,371847	3,051758	8,207031
6	0,262144	2,951424	0,088819	0,338819	3,814697	11,258789
7	0,209715	3,161139	0,066342	0,316342	4,768372	15,073486
8	0,167772	3,328911	0,050399	0,300399	5,960464	19,841858
9	0,134218	3,463129	0,038756	0,288756	7,450581	25,802322
10	0,107374	3,570503	0,030073	0,280073	9,313226	33,252903
11	0,085899	3,656403	0,023493	0,273493	11,641532	42,566129
12	0,068719	3,725122	0,018448	0,268448	14,551915	54,207661
13	0,054976	3,780098	0,014543	0,264543	18,189894	68,759576
14	0,043980	3,824078	0,011501	0,261501	22,737368	86,949470
15	0,035184	3,859263	0;009117	0,259117	28,421709	109,686838
16	0,028147	3,887410	0,007241	0,257241	35,527137	138,108547
17	0,022518	3,909928	0,005759	0,255759	44,408921	173,635684
18	0,018014	3,927942	0,004586	0,254586	55,511151	218,044605
19	0,014412	3,942354	0,003656	0,253656	69,388939	273,555756
20	0,011529	3,953883	0,002916	0,252916	86,736174	342,944695
21	0,009223	3,963107	0,002327	0,252327	108,420217	429,680869
22	0,007379	3,970485	0,001858	0,251858	135,525272	538,101086
23	0,005903	3,976388	0,001485	0,251485	169,406589	673,626358
24	0,004722	3,981111	0,001186	0,251186	211,758237	843,032947
25	0,003778	3,984888	0,000948	0,250948	264,697796	1054,79118
26	0,003022	3,987911	0,000758	0,250758	330,872245	1319,48898
27	0,002418	3,990329	0,000606	0,250606	413,590306	1650,36122
28	0,001934	3,992263	0,000485	0,250485	516,987883	2063,95153
29	0,001547	3,993810	0,000387	0,250387	646,234854	2580,93941
30	**0,001238**	**3,995048**	**0,000310**	**0,250310**	**807,793567**	**3227,17426**

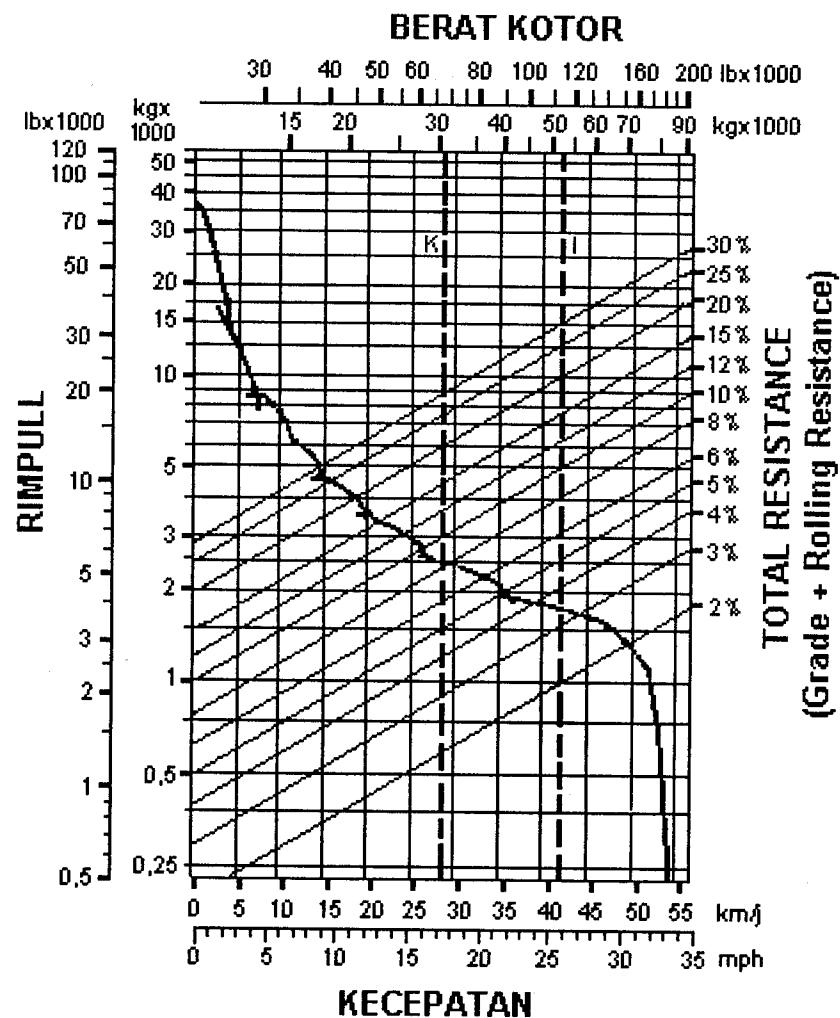
7. Suku Bunga = 30 %

n	P/F	P/A	A/F	A/P	F/P	F/A
1	0,769231	0,769231	1,000000	1,300000	1,300000	1,000000
2	0,591716	1,360947	0,434783	0,734783	1,690000	2,300000
3	0,455166	1,816113	0,250627	0,550627	2,197000	3,990000
4	0,350128	2,166241	0,161629	0,461629	2,856100	6,187000
5	0,269329	2,435570	0,110582	0,410582	3,712930	9,043100
6	0,207176	2,642746	0,078394	0,378394	4,826809	12,756030
7	0,159366	2,802112	0,056874	0,356874	6,274852	17,582839
8	0,122589	2,924702	0,041915	0,341915	8,157307	23,857691
9	0,094300	3,019001	0,031235	0,331235	10,604499	32,014998
10	0,072538	3,091539	0,023463	0,323463	13,785849	42,619497
11	0,055799	3,147338	0,017729	0,317729	17,921604	56,405346
12	0,042922	3,190260	0,013454	0,313454	23,298085	74,326950
13	0,033017	3,223277	0,010243	0,310243	30,287511	97,625036
14	0,025398	3,248675	0,007818	0,307818	39,373764	127,912546
15	0,019537	3,268211	0,005978	0,305978	51,185893	167,286310
16	0,015028	3,283239	0,004577	0,304577	66,541661	218,472203
17	0,011560	3,294800	0,003509	0,303509	86,504159	285,013864
18	0,008892	3,303692	0,002692	0,302692	112,455407	371,518023
19	0,006840	3,310532	0,002066	0,302066	146,192029	483,973430
20	0,005262	3,315794	0,001587	0,301587	190,049638	630,165459
21	0,004048	3,319842	0,001219	0,301219	247,064529	820,215097
22	0,003113	3,322955	0,000937	0,300937	321,183887	1067,27962
23	0,002395	3,325350	0,000720	0,300720	417,539054	1388,46351
24	0,001842	3,327192	0,000554	0,300554	542,800770	1806,00256
25	0,001417	3,328609	0,000426	0,300426	705,641001	2348,80333
26	0,001090	3,329700	0,000327	0,300327	917,333301	3054,44433
27	0,000839	3,330538	0,000252	0,300252	1192,53329	3971,77764
28	0,000645	3,331183	0,000194	0,300194	1550,29328	5164,31093
29	0,000496	3,331679	0,000149	0,300149	2015,38126	6714,60421
30	**0,000382**	**3,332061**	**0,000115**	**0,300115**	**2619,99564**	**8729,98547**

LAMPIRAN 2

Grafik Kecepatan Scraper

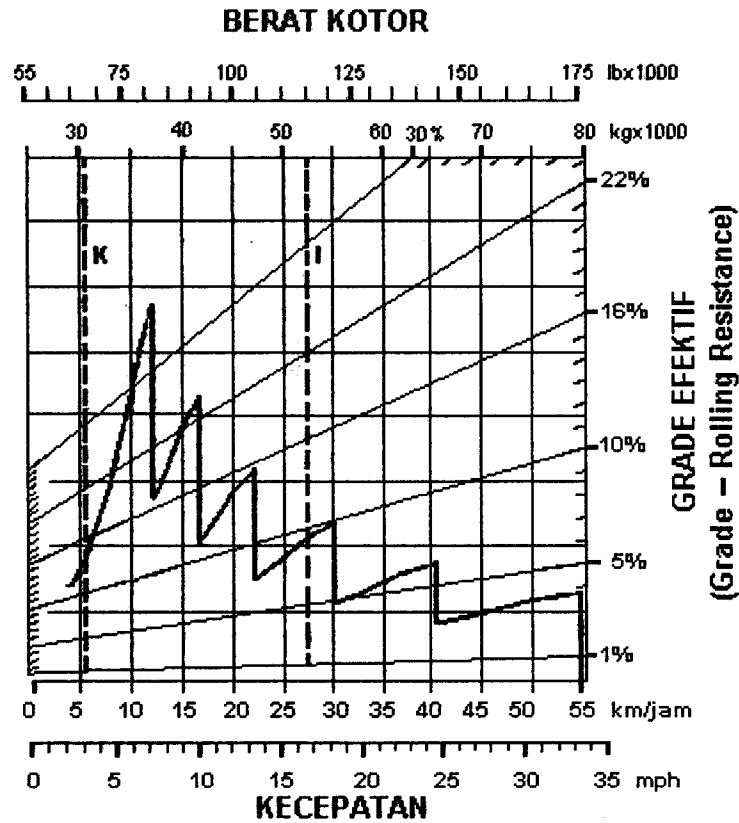
1. Scraper beroda ban 621 E

1.1. Grafik Rimpull Speed Greadibility

Keterangan:

K : berat kosong alat 30.480 kg (67.195 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 52.255 kg (115.195 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

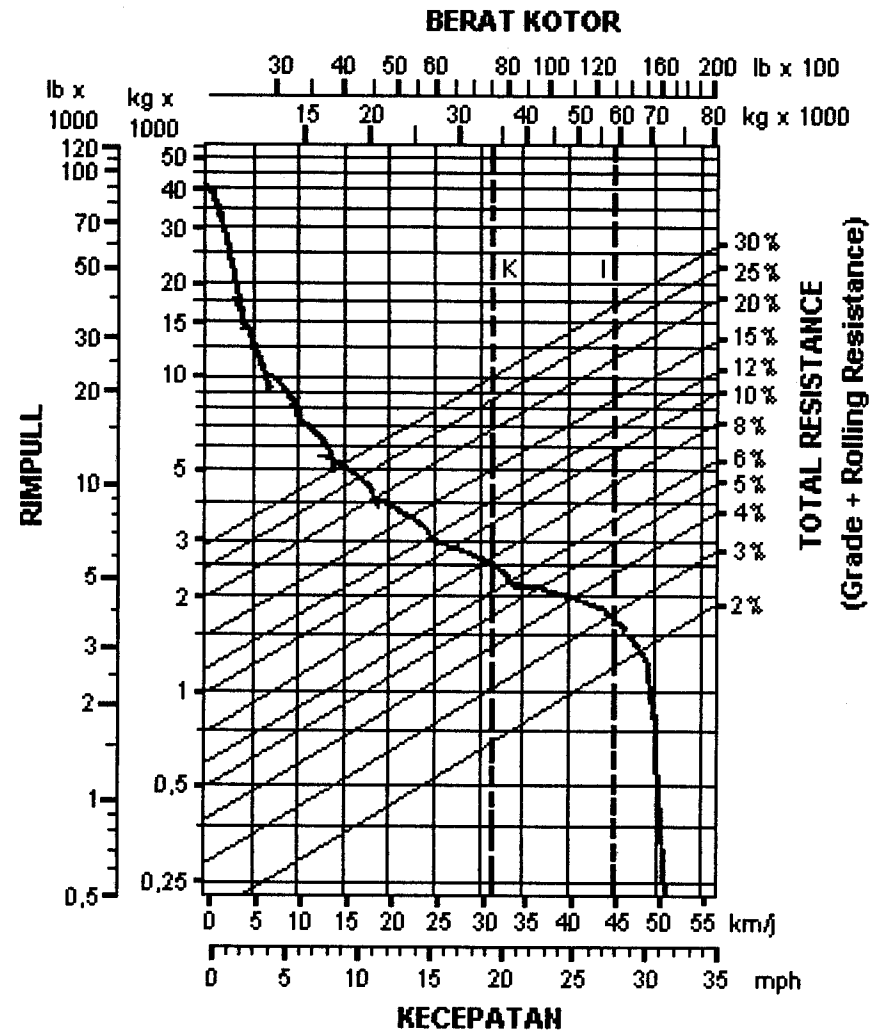
1.2. Grafik Retarding

Keterangan:

K : berat kosong alat 30.480 kg (67.195 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 52.255 kg (115.195 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

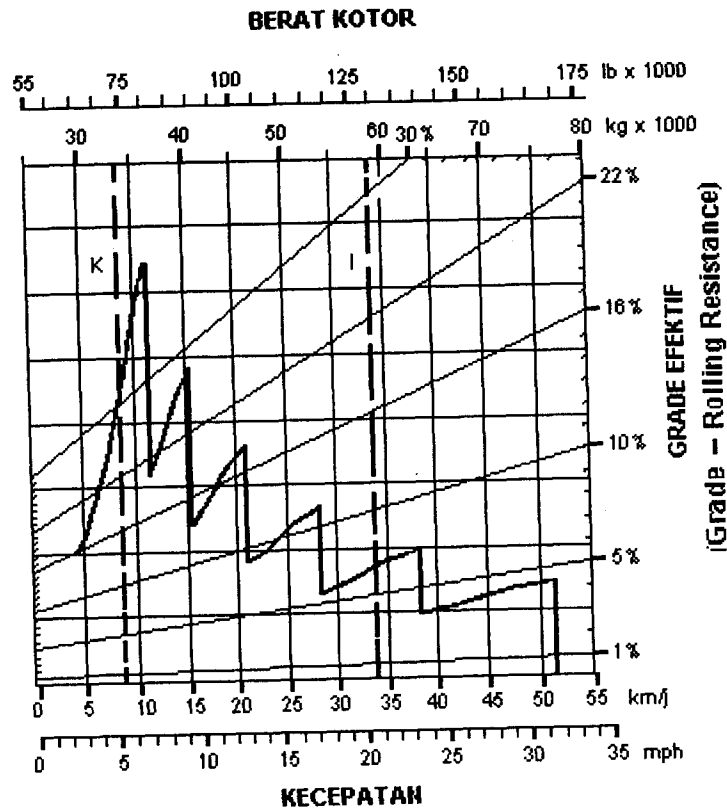
2. Scraper beroda ban 623 E

2.1. Grafik Rimpull Speed Greadibility

Keterangan:

K : berat kosong alat 33.700 kg (74.300 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 58.650 kg (129.300 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

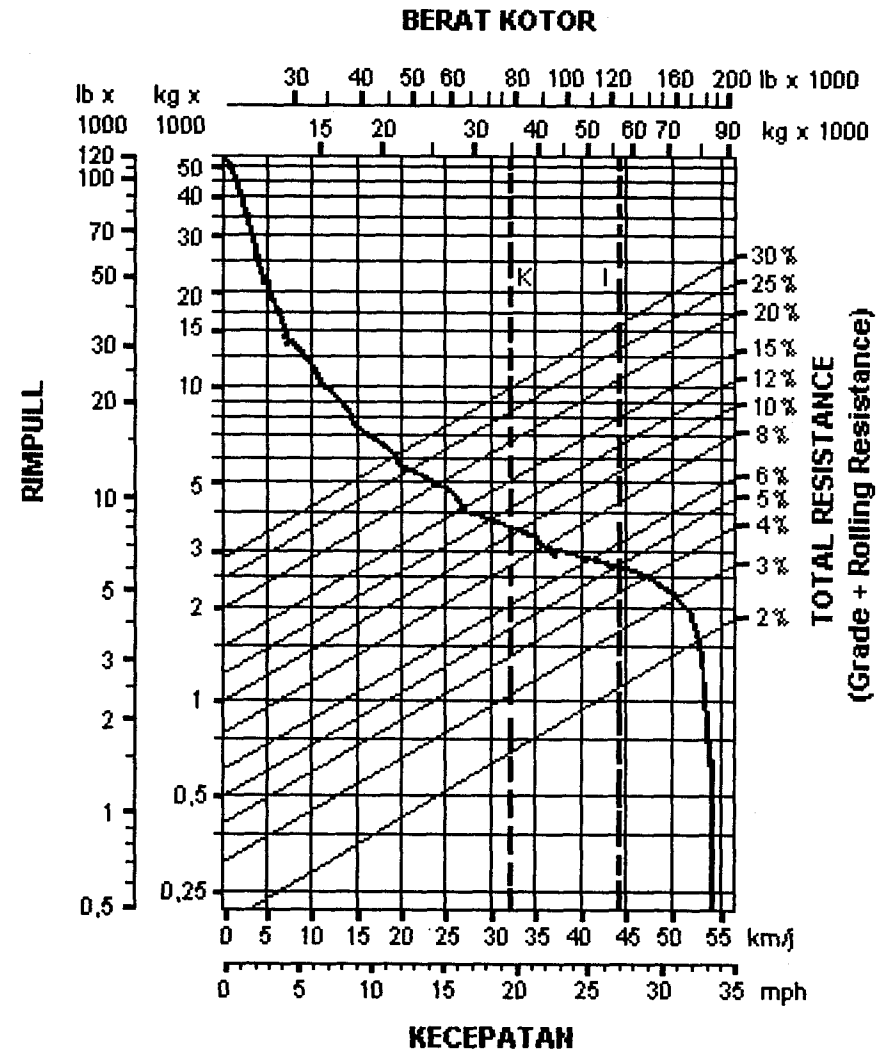
2.2. Grafik Retarding

Keterangan:

K : berat kosong alat 33.700 kg (74.300 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 58.650 kg (129.300 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

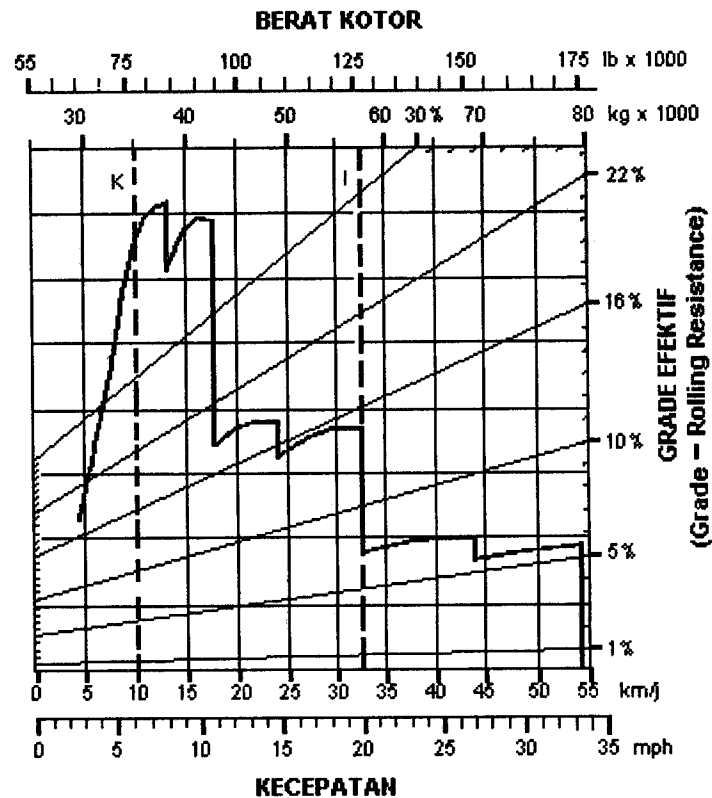
3. Scraper beroda ban 627 E

3.1. Grafik Rimpull Speed Greadibility

Keterangan:

K : berat kosong alat 35.160 kg (77.510 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 56.935 kg (125.510 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

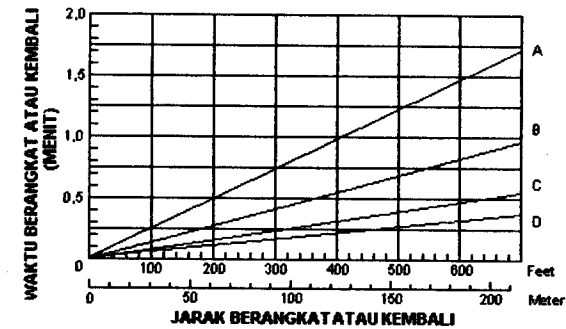
3.2. Grafik Retarding

Keterangan:

K : berat kosong alat 35.160 kg (77.510 lb)

I : berat maksimum alat ditambah material 56.935 kg (125.510 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

LAMPIRAN 3
Grafik Loader

1. Grafik untuk Loader 910 F

Keterangan:

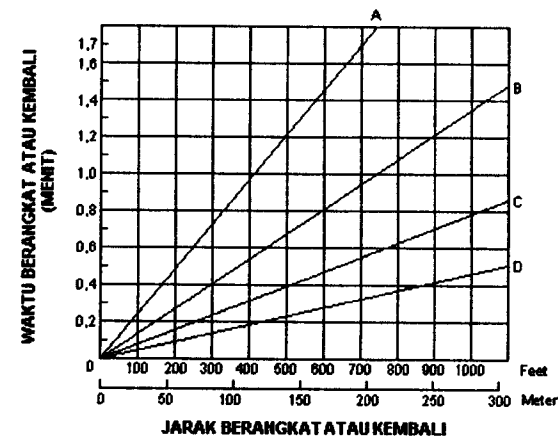
A : Kecepatan pertama maju dan mundur

B : Kecepatan kedua maju dan mundur

C : Kecepatan ketiga maju dan mundur

D : Kecepatan keempat maju

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

2. Grafik Loader 918 F

Keterangan:

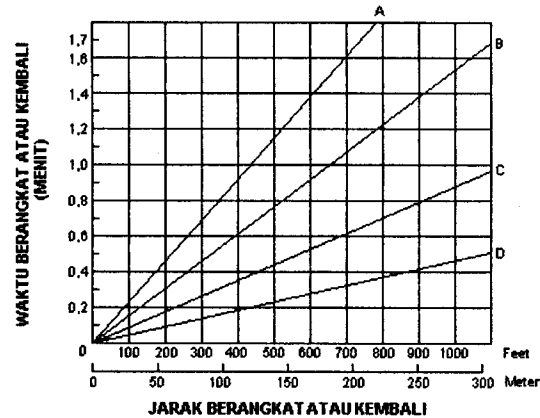
A : Kecepatan pertama maju dan mundur

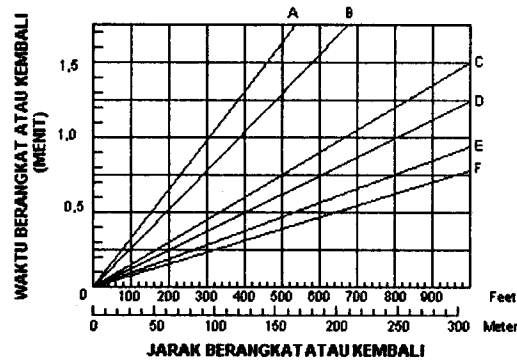
B : Kecepatan kedua maju dan mundur

C : Kecepatan ketiga maju dan mundur

D : Kecepatan keempat maju

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

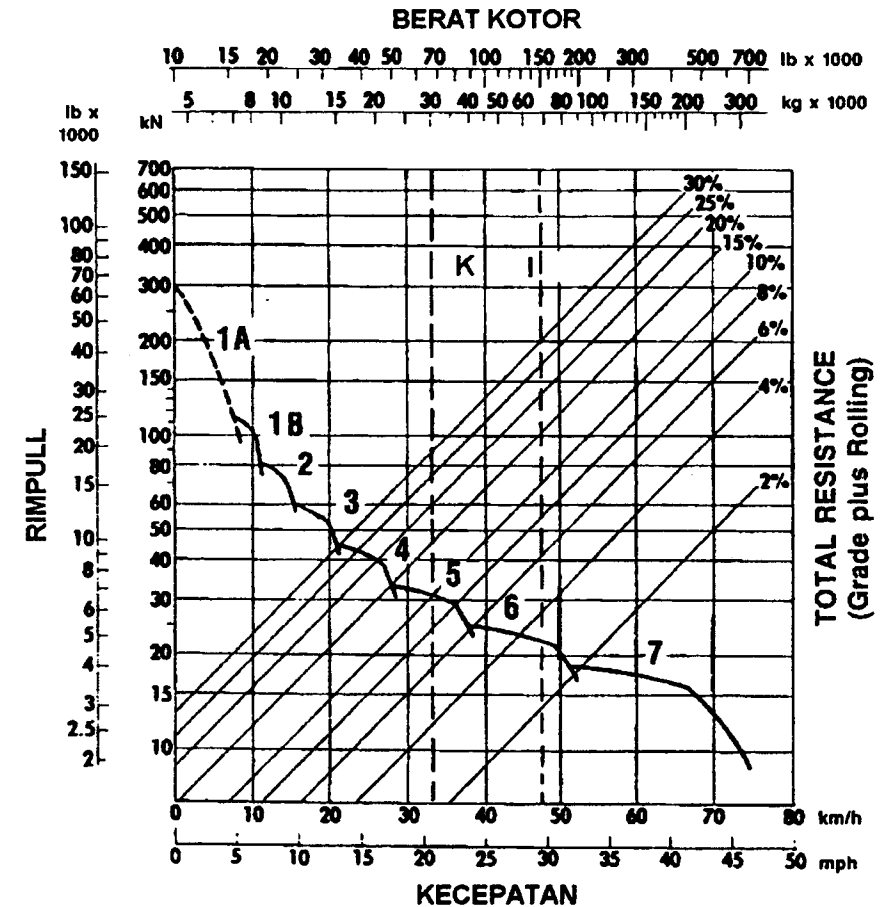
3. Grafik Loader 928 F

Keterangan:
A: Kecepatan pertama maju dan mundur
B: Kecepatan kedua maju dan mundur
C: Kecepatan ketiga maju dan mundur
D: Kecepatan keempat maju
(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

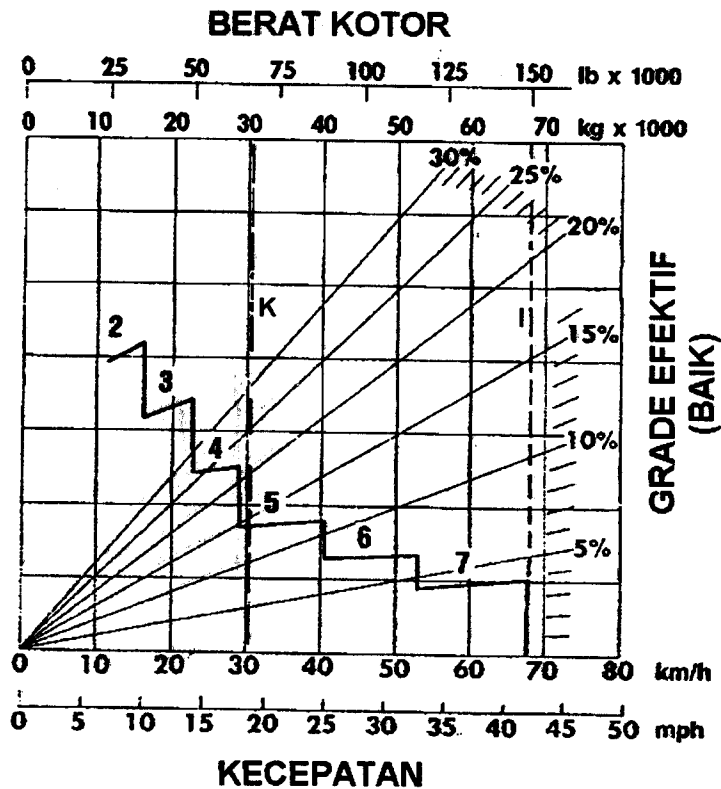
4. Grafik Loader 930 T

Keterangan:
A: Kecepatan pertama maju
B: Kecepatan pertama mundur
C: Kecepatan kedua maju
D: Kecepatan kedua mundur
E: Kecepatan ketiga maju
F: Kecepatan ketiga mundur
(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

LAMPIRAN 4

Grafik Kecepatan Truk

1. Truk 769 C

1.1. Grafik Rimpull Speed Gradeability

Keterangan:
K : Berat kosong alat 31.178 kg (68.750 lb)
I : Berat maksimum alat ditambah material 67.586 kg (149.000 lb)
(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

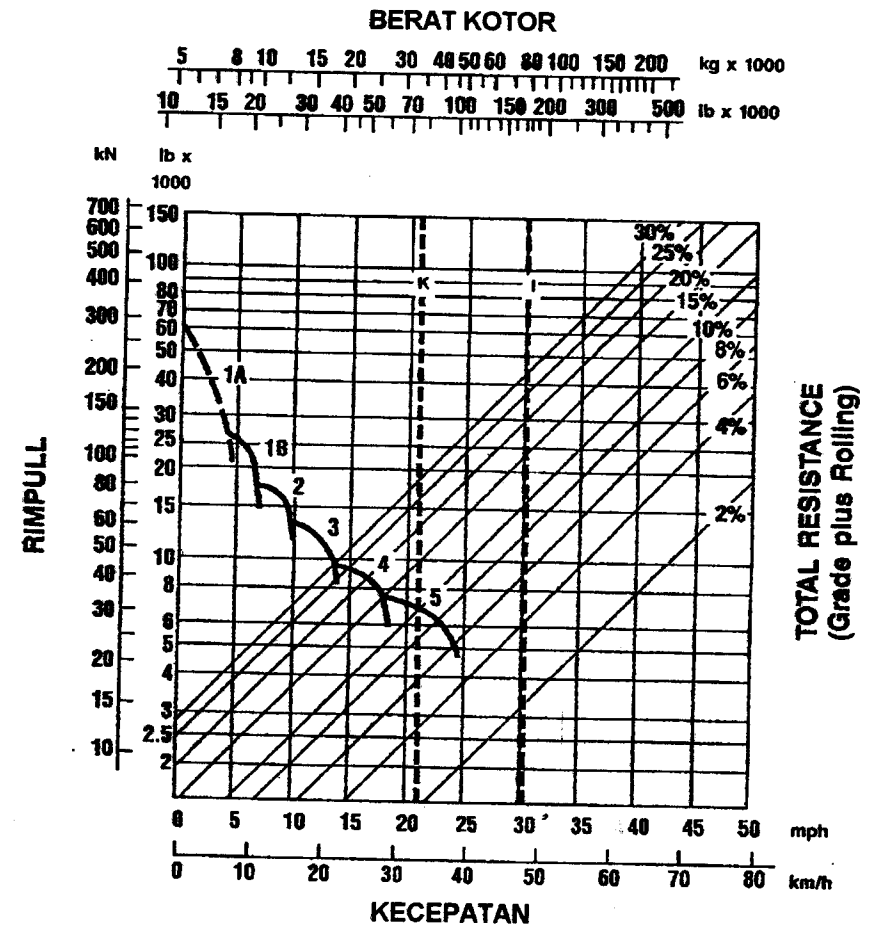
1.2. Grafik Continuous Grade Retarding

Keterangan:

K : Berat kosong alat 31.178 kg (68.750 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 67.586 kg (149.000 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

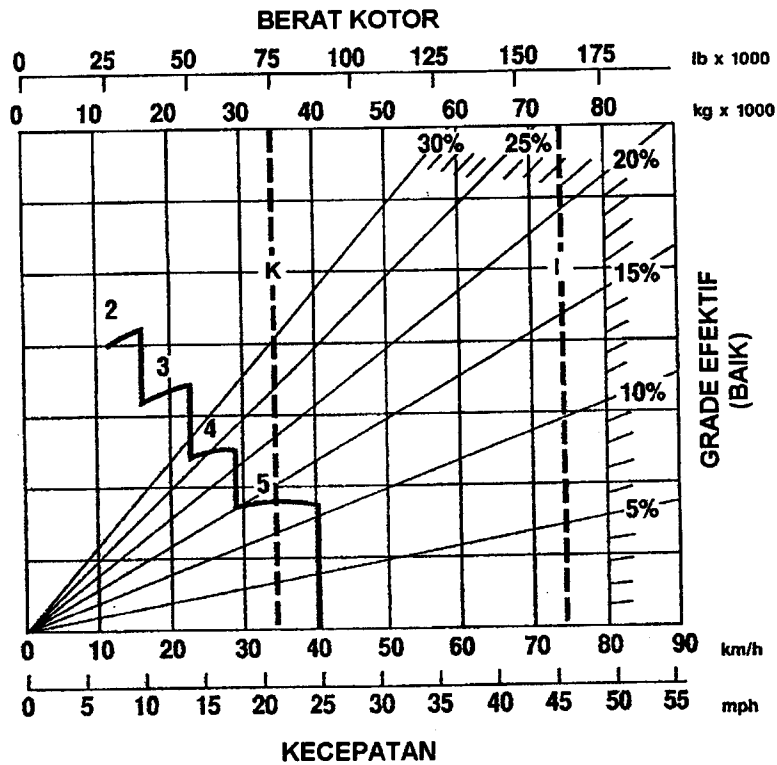
2. Truk 771 C

2.1. Grafik Rimpull Speed Gradeability

Keterangan:

K : Berat kosong alat 33.814 kg (74.560 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 73.970 kg (163.100 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

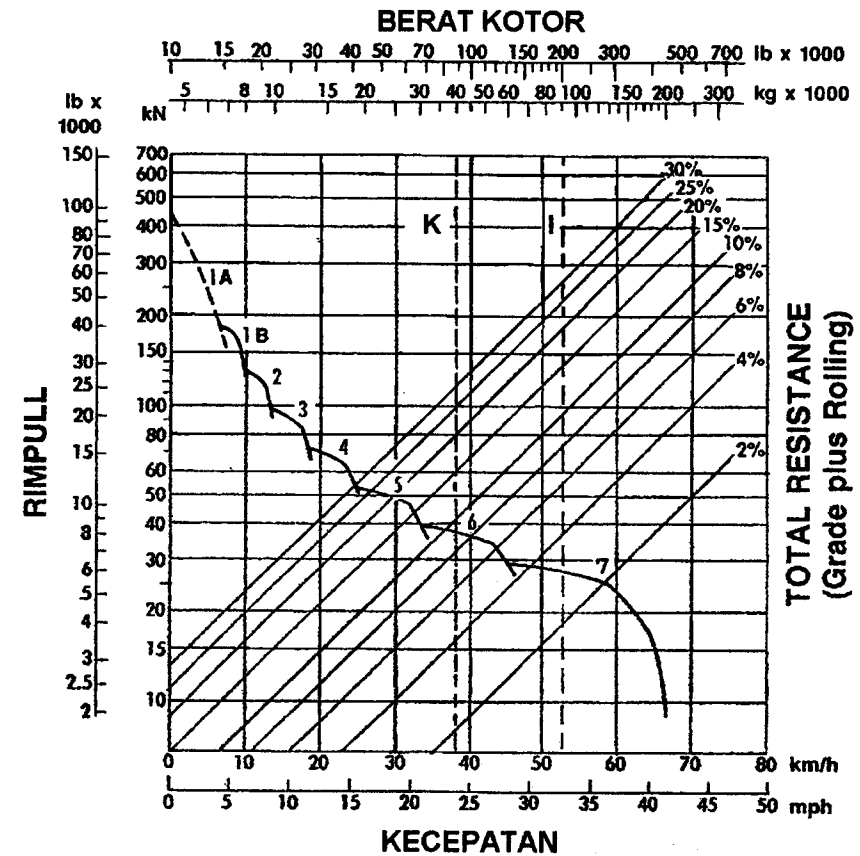
2.2. Grafik Continuous Grade Retarding

Keterangan:

K : Berat kosong alat 33.814 kg (74.560 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 73.970 kg (163.100 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

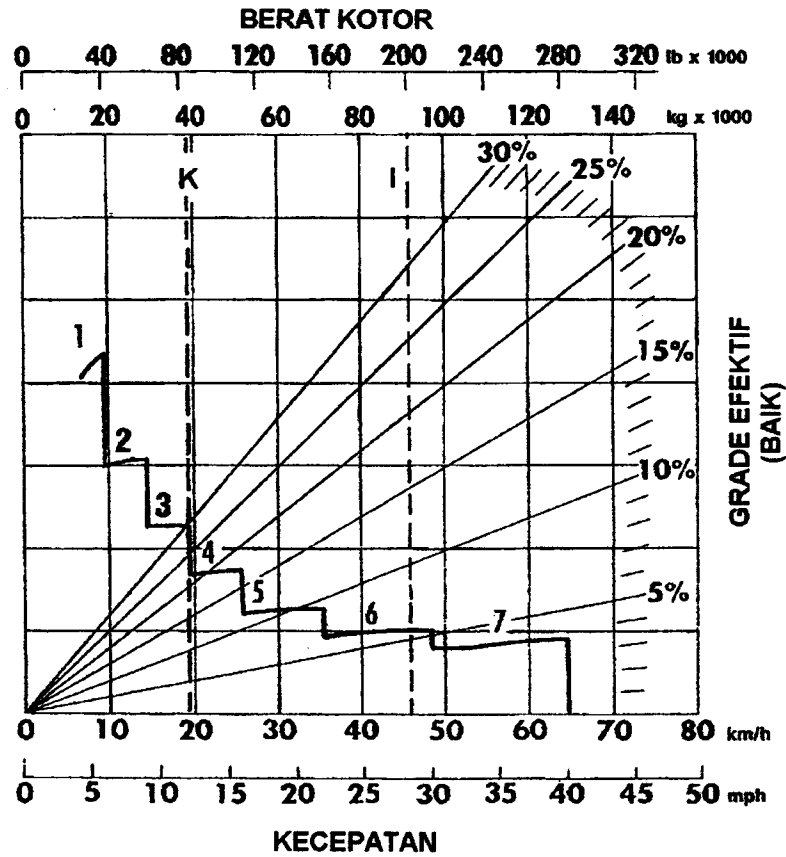
3. Truk 773 B

3.1. Grafik Rimpull Speed Gradeability

Keterangan:

K : Berat kosong alat 39.396 kg (86.869 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 92.534 kg (204.000 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

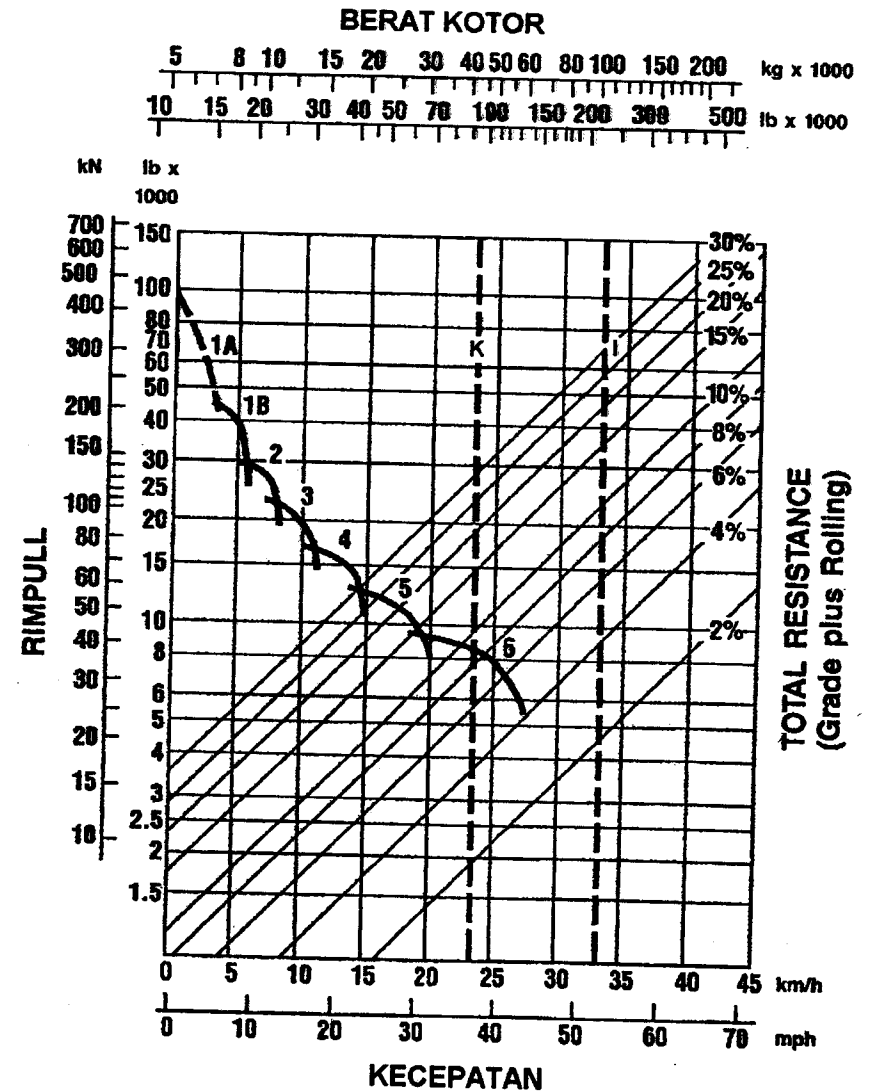
3.2. Grafik Continuous Grade Retarding

Keterangan:

K : Berat kosong alat 39.396 kg (86.869 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 92.534 kg (204.000 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

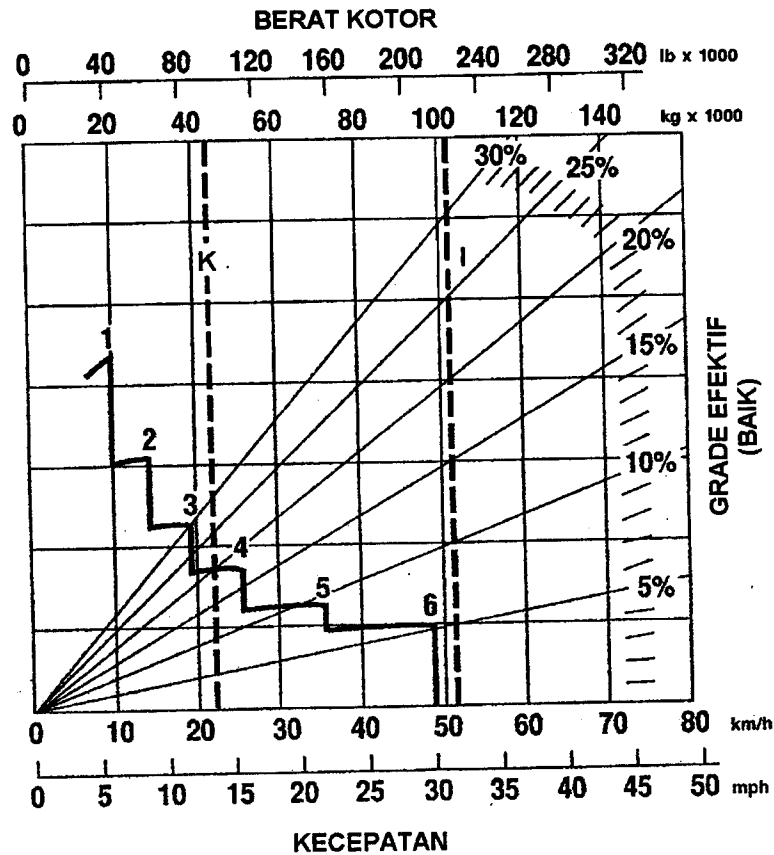
4. Truk 775 B

4.1. Grafik Rimpull Speed Gradeability

Keterangan:

K : Berat kosong alat 42.324 kg (93.325 lb)

I : Berat maksimum alat ditambah material 101.700 kg (224.300 lb)

(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

4.2. Grafik Continuous Grade Retarding

Keterangan:
K : Berat kosong alat 42.324 kg (93.325 lb)
I : Berat maksimum alat ditambah material 101.700 kg (224.300 lb)
(Sumber: *Caterpillar Performance Handbook*, 1993)

DAFTAR PUSTAKA

Day, D.,A. 1991. "*Construction Equipment Guide.*" John Wiley & Sons, Inc. New York. 2nd Edition.

Nichols, H.L. 1976. "*Moving The Earth.*" Mc Graw-Hill Publishing Co. New York. 3rd Edition.

Nunnally, S.W. 1998. "*Construction Methods and Management.*" Prentice Hall. New Jersey. 4th Edition.

O'Brien, J.J., Havers, J.A., Stubbs, Jr., F.W. 1996. "*Standard Handbook of Heavy Construction.*" Mc Graw-Hill. New York.

Peurifoy, R.L., Ledbetter, W.B., Schexnayder, C.J. 1996. "*Construction Planning, Equipment and Methods.*" McGraw-Hill. New York. 5th Edition.

Pratt, D. 1995. "*Fundamentals of Construction Estimating.*" Delmar Publishers. New York.

Russel, J.E. 1985. "*Construction Equipment.*" Reston. Virginia.

Shappiro, H.I., Sapiro, J.P., Shapiro, L.K. 1991. "*Cranes and Derricks.*" Mc Graw-Hill Inc. New York. 2nd Edition.

Singh, J. 1993. "*Heavy Construction: Planning, Equipment and Methods.*" AA Balkema. Rotterdam.

Sjachdirin, M. 1997. "Pengoperasian Alat Berat di Bidang Industri Konstruksi." Diktat Pemindahan Tanah Mekanis/Alat-alat Berat. Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Jakarta.

Rochmanhadi. 1989. "Alat Alat Berat dan Penggunaannya." YBPPU. Jakarta.

Varma, M. 1992. "*Construction Equipment and Its Planning and Application.*" Metropolitan Book Co. (P) Ltd. New Delhi. 3rd Edition.

Wilopo, J. 1999. "Manajemen Alat Konstruksi." Diktat Metode Konstruksi dan Alat-Alat Berat. Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara. Jakarta.

_________1993. "Aplikasi dan Produksi Alat-Alat Berat." Training Centre Dept. PT United Tractors Jakarta. Jakarta.

________1993. "*Caterpillar Performance Handbook*." Caterpillar Inc. Illinois.

BROSUR-BROSUR

1. Sumitomo (SHI) Construction Machinery Co., Ltd.
2. Tanaka
3. Sakai

WEBSITE

1. http://www.buyerzone.com/industrial/motor-grader/images
2. http://www.dkimages.com/discover/previews/849
3. http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/09_construction/images
4. http://www.roadstothefuture.com
5. http://www.badgerbattery.com/My%20Pictures
6. http://www.constructiondiecast.com/pics-150
7. http://www.tpub.com/content/engine/14081/img
8. http://www.firstgearreplicas.com/storeImages/Thumbnails
9. http://www.rocklandmfg.com/Images/special_photos
10. http://www.cs.utah.edu/~hatch/scrapers.html
11. http://www.hartstractor.com/noble
12. http://www.cs.utah.edu/~hatch/scrapers.html
13. http://www.turbosquid.com/FullPreview
14. http://www.dankoconstruction.com/images
15. http://equipmentexchangeinc.com/db2/00194/equipentexchangeinc.com
16. http://www.courtneyberg.com/images/products/agri
17. http://www.asphaltwa.com/wapa_web/modules/07_construction/images
18. http://www.gomaco.com/resources/worldstories/world342/photos/walsh
19. http://aonecranes.com/images
20. http://www.rivertekservices.com/images
21. http://www.towercranetraining.co.uk/towercranetypes_files
22. http://www.dumptruckhire.net/img
23. http://www.northerntool.com/images/product/images
24. http://www.dannaylor.com/gallery2/gal2imgs
25. http://www.boatnerd.com/news/newpictures03b
26. http://www.miskin.com/Compactor
27. http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/09_construction/images
28. http://www.infrastructures.com/0306
29. http://www.impact-enterprises.com/photo
30. http://img.alibaba.com/photo/50403408
31. http://www.canterbury.gov.uk/images/coastal
32. http://lancastercomposite.net
33. http://pz27.pilebuckinternational.com/images
34. http://www.lippmann-milwaukee.com
35. http://www.penncrusher.com/images/imagelib/content
36. http://www.topall.cc/images
37. http://www.concretemixers.com
38. http://www.putzmeister.co.uk/images